

NEBENKEULENEFFEKTE BEI DER DIAGNOSTIK

MIT DEM ULTRASCHALL - B-BILD

MANFRED STAPFF

~~1982~~
1983

Diss
München



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554004_0077

Aus der Medizinischen Poliklinik der Universität München

Vorstand: Prof. Dr. N. Zöllner

NEBENKEULENEFFEKTE BEI DER DIAGNOSTIK MIT DEM

ULTRASCHALL - B-BILD

(In vitro- und in vivo Untersuchungen
von Artefakten durch seitliche Schall-
abstrahlung innerhalb der Bildebene)

INAUGURAL - DISSERTATION

ZUR ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE IN DER GESAMTEN MEDIZIN

AN DER LUDWIG MAXIMILIANS - UNIVERSITÄT ZU MÜNCHEN

vorgelegt von

Manfred Stapff

aus

Rosenheim

1982

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. F-D. Goebel...

Mitberichterstatter: Prof. Dr. N. Zöllner

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 27. 11. 84

1. Problemstellung	1
1.1. Einführung und Literaturübersicht.....	1
1.2. Ziel der Arbeit.....	2
1.3. Abgrenzung des Themas.....	2
2. Material und Methoden	
2.1. Wasserbad.....	3
2.2. Reflektoren.....	3
2.3. Ultraschallgeräte.....	5
2.4. Versuchsaufbau.....	7
2.5. Versuchsdurchführung.....	8
2.6. In-vivo Beobachtungen.....	10
3. Ergebnisse	
3.1. Variablen auf der Reflektorseite	
3.1.1. Stabförmige Reflektoren.....	11
3.1.2. Ebene Reflektoren.....	17
3.2. Variablen auf der Geräteseite	
3.2.1. Compound-Scanner.....	22
3.2.2. Sektor-Scanner.....	29
3.2.3. Parallel-Scanner.....	31
3.3. In-vivo Beobachtungen.....	35
4. Diskussion	
4.1. Arbeitshypothese.....	36
4.2. Entstehung des Bogenartefakts.....	39
4.3. Entstehung des Fächerartefakts.....	45
4.4. Besonderheiten bei verschiedenen Gerätetypen	
4.4.1. Compound-Scanner.....	47
4.4.2. Sektor-Scanner.....	49
4.4.3. Parallel-Scanner.....	50
4.5. Literaturdiskussion.....	53
4.6. Klinische Bedeutung	
4.6.1. Voraussetzungen.....	55
4.6.2. Eigene in-vivo Beobachtungen.....	56
4.6.3. In der Literatur beschriebene in-vivo Beobachtungen.....	58
4.6.4. Folgerungen.....	60
5. Zusammenfassung.....	62
6. Mathematischer Appendix.....	64
7. Literaturverzeichnis.....	66

VERZEICHNIS DER TABELLEN

Tab. 1: Eigenschaften der verwendeten Reflektoren.....	4
Tab. 2: Verwendete Geräte.....	6
Tab. 3: Variablen bei der Versuchsdurchführung.....	9
Tab. 4: Beobachtungskriterien.....	9
Tab. 5: Zusammenhang zwischen Flächenneigungswinkel α und Artefaktwinkel β beim Fächerartefakt.....	20
Tab. 6: Die wichtigsten geräteunabhängigen, qualitativen Beobachtungen beim Bogen- und Fächerartefakt in Abhängigkeit von variierten Versuchsbedingungen...	21
Tab. 7: Bogen- und Fächerartefakte in verschiedenen Organen.....	35
Tab. 8: Ausprägung des Bogen- und Fächerartefakts und Schallfeldcharakteristiken bei den verwendeten Geräten.....	52

1. PROBLEMSTELLUNG

1.1. Einführung und Literaturübersicht

Irrtümer und Fehlinterpretationen bei der Ultraschalldiagnostik beruhen nicht immer auf unzureichenden anatomischen Kenntnissen (29, 38), mangelhafter Geräteeinstellung (22, 38, 51) oder schlechter Untersuchungstechnik (22, 51). Oft werden auch bei optimalen Voraussetzungen Echos sichtbar, die keiner wirklichen anatomischen Struktur entsprechen. Diese Artefakte kann der Untersucher nur dann als solche erkennen, wenn ihm ihre Entstehung bekannt ist. Sie beruhen darauf, daß verschiedene, vereinfachte Annahmen über die Schallausbreitung, von welchen die Signalverarbeitung ausgeht, nicht voll erfüllt sind (38):

Es wird zum Beispiel unterstellt, daß die von einem Organ reflektierten Ultraschallwellen ohne weitere Reflexion zum Schallkopf zurückgelangen. Ist dies nicht der Fall, sondern werden die Schallimpulse zwischen verschiedenen akustischen Grenzflächen mehrfach reflektiert, entstehen Wiederholungsechos und akustische Spiegelbilder (11, 17, 38, 46, 51, 57). Die Schallgeschwindigkeit und die Schallabschwächung sind nicht in allen Geweben gleich groß. So kann es durch Brechung, Beugung und verstärkte Absorption zu Schallauslöschungen und zu Schallverstärkungen kommen (38, 39, 48, 53).

Ferner erfolgt die Schallausbreitung nicht längs einer eindimensionalen Linie, sondern hauptsächlich innerhalb einer Schallkeule von bestimmter Dicke. Dadurch wird die laterale Auflösung erheblich vermindert (1), und schräg getroffene Strukturen werden viel dicker abgebildet, als sie in Wirklichkeit sind (4, 20).

Schließlich kann auch bei der elektronischen Signalverarbeitung die Stärke eines Echos (8) oder der Ort seiner Entstehung (19) anders wiedergegeben werden, als es den wahren Verhältnissen entspricht.

Erst in der jüngsten Zeit wird die Bedeutung dieses Themas langsam erkannt, und Kapitel über einige wichtige Artefakte halten Einzug in die Standardlehrbücher der Ultraschall-diagnostik (38, 39, 54).

1.2. Ziel der Arbeit

Bei der sonographischen Untersuchung des Abdomens werden des öfteren gebogene, teilweise unterbrochene Linien beobachtet, die ihren Ursprung von Stellen starken Impedanzsprungs nehmen und besonders gut in zystischen oder anderen echoarmen Regionen zu sehen sind. In der Poliklinik der Universität München wurde für diese Erscheinung der Name "Bogenartefakt" gewählt, in der Literatur wird sie bisweilen als "Hyperbelartefakt" bezeichnet (39, 62). Schon die unterschiedliche Namensgebung zeigt, daß es zur Entstehung dieses Artefakts bisher keine einheitliche Erklärung gibt. Um unterschiedliche Vorstellungen dazu (32, 34, 39, 62) zu prüfen, den zugrundeliegenden Schallweg zu klären und um das Erscheinungsbild des Bogenartefakts bei verschiedenen Gerätetypen zu beschreiben, schienen systematische Versuche mit verschiedenen Reflektoren im Wasserbad am geeignetsten. Diese in vitro Versuche sollten durch in vivo Beobachtungen an Patienten oder Probanden ergänzt werden.

1.3. Abgrenzung des Themas

Dem Charakter des Ultraschalls als bildgebendes diagnostisches Hilfsmittel entsprechend, wurden hauptsächlich optische, qualitative Beobachtungen angestellt. Quantitative Messungen sind wegen der langen, stör anfälligen Kette von der Versuchsanordnung über Schallkopf und Signalverarbeitung bis zum Monitor und evtl. Fotodokumentation zu wenig aussagekräftig (9). Schalldruckmessgeräte und Schlierenoptik standen nicht zur Verfügung. In erster Linie sollte es in dieser Arbeit darum gehen, die Phänomenologie des Bogenartefakts und die Bedeutung für die Ultraschalldiagnostik zu beschreiben.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1. Wasserbad

Für die Untersuchungen im Wasserbad standen zwei Glasbehälter mit rechteckiger Grundfläche zur Verfügung. Je nach Größe des Applikators und Eindringtiefe des Schallkopfes bei den verschiedenen Geräten wurde ein niedriges Gefäß mit einer Grundfläche von 20 x 30 cm und einer Höhe von 20 cm, oder ein tiefes Gefäß mit einer Grundfläche von 25 x 35 cm und einer Höhe von 50 cm benutzt. Der Boden eines jeden Gefäßes wurde mit grobem Sandpapier ausgelegt, um eine zu starke Reflexion durch den Glasboden zu vermeiden. Auf die in anderen Wasserbadversuchen (19, 20, 26) durchgeführte Füllung mit entgastem, destillierten Wasser wurde hier bewußt verzichtet und normales Leitungswasser von Zimmertemperatur verwendet. Die dabei immer vorhandenen Luftblasenechos erwiesen sich nämlich nicht nur bei der Einstellung des Tiefenausgleichs, sondern auch bei der Beobachtung von Schallschattenphänomenen in einigen Versuchen als hilfreich.

2.2. Reflektoren

Als reflektierende Objekte dienten Holzstäbe und Metallrohre verschiedenen Durchmessers und flache Platten unterschiedlichen Materials und unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit, wie in Tabelle 1 aufgelistet.

Nach dem Vorbild eines Testobjektes zur Untersuchung der Auflösung von Ultraschallgeräten (26) wurde zusätzlich eine Leiter aus 18 Kupferdrahtsprossen von je 1,2 mm Durchmesser in jeweils 9 mm Abstand konstruiert (siehe Abbildung 1). In einigen Versuchen wurde außerdem noch eine zu beliebigen Formen knetbare Gummimasse benutzt. Bei einer Dichte von ca. $2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ diente sie als Schallabsorber.

Tab. 1: Eigenschaften der verwendeten Reflektoren

Material	Form	Länge	Breite bzw. Durchmesser	Oberfläche
Holz	Stäbe	18 cm	4 - 14 mm	Acrylfarbe matt
Metall	Rohre	20 cm	3 - 10 mm	verchromt spiegelnd
Sandpapier	Fläche	17 cm	11 cm	grob
Pertinax (Kunststoff)	Fläche	16 cm	10 cm	matt
Glasspiegel	Fläche	16 cm	12 cm	glatt
Kupferdraht	Leiter (18 Sprossen in 9 mm Abstand)	7 cm	1,2 mm	versilbert

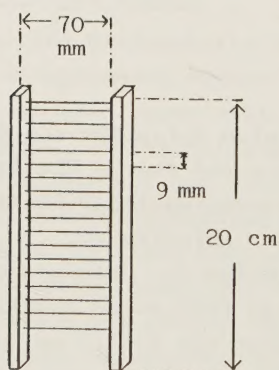


Abb. 1: Konstruktion und Maße der als Testobjekt verwendeten Kupferdrahtleiter.

2.3. Ultraschallgeräte

Unter den im Zeitraum November 1981 bis Mai 1982 der Poliklinik der Universität München zur Verfügung stehenden Ultraschall B-Bild-Geräten befanden sich Vertreter aller wichtigen Konstruktionsprinzipien in Bezug auf Schallkopf und Bildaufbau.

Zur Verwendung kamen im einzelnen:

Ein Compound-Scanner: Der Schallkopf ist an einem Scan-Arm mit mehreren Gelenken befestigt und läßt sich in beliebigen Abtastbewegungen führen. Die zum Bildaufbau nötige Information über die augenblickliche Schallrichtung liefern in den Gelenken des Scan-Arms eingebaute Positionsgeber. In einem Abtastvorgang entsteht ein einziges, stehendes Bild.

Ein mechanischer Sektor-Scanner: Um einen festen Schallkopf oszilliert ein Spiegel und lenkt den Schallstrahl so um, daß von einem Punkt ausgehend ein bestimmter Sektor einer Kreisfläche abgetastet wird. Dies geschieht 15 oder 30 mal pro Sekunde; sodaß ein bewegtes (Real-time) Bild entsteht.

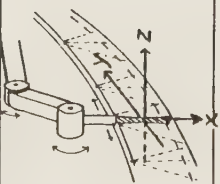
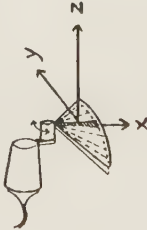
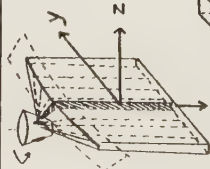
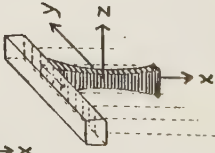
Parallel-Scanner:

a) mechanisch, mit Wasservorlaufstrecke: Ein Träger mit drei Schallköpfen rotiert im Brennpunkt eines Paraboloid-Spiegels, durch den das divergierende Schallstrahlenbündel in ein paralleles umgewandelt wird. Dies geschieht in einer Wasservorlaufstrecke. Die Schallstrahlen verlassen das Wasserbad parallel und tasten eine rechteckige Bildfläche mit einer Bildfrequenz von $15 - 30 \text{ sec}^{-1}$, je nach Rotationsgeschwindigkeit ab.

b) elektronisch: Der Schallkopf (Linear Array) besteht aus 50 - 400 Einzelelementen, die linear angeordnet sind und nacheinander kurz ein- und wieder ausgeschaltet werden. Einem oder einer Gruppe von Einzelelementen ist dabei eine senkrechte Bild-"Zeile" auf dem Monitor zugeordnet. Es entsteht ebenfalls ein rechteckiges Real-time Bild mit einer Bildfrequenz je nach Abtastgeschwindigkeit.

Eine Übersicht über die verwendeten Gerätetypen und die Geometrie des Bildaufbaus gibt Tabelle 2.

Tab. 2: Verwendete Geräte

Typ	Gerät	Geometrie	Focussierung	Frequenz	Foto-Dokumentation
Compound-Scanner	Unirad EDP 1000		mechanisch	2,5/3,5 5,0/7,5 MHz	Ilford HP 5 und Kodak Ektachrome 400
Sektor-Scanner (mechanisch)	Technicare Autosector		mechanisch	3,5 MHz	Polaroid 667
Parallel-Scanner (mechanisch)	Siemens Vidoson 735 SM		mechanisch	3,0 MHz	Kodak Ektachrome 400
(elektro-nisch)	ADR Kranzbühler 2131 Toshiba Sonolayer SAL 20 A Siemens Sonoline 8000 Siemens Imager 2380		{ in z-Richtung mechanisch in y-Richtung elektronisch }	3,5 MHz 3,5 MHz 3,5/ 5,0 MHz 2,5 MHz	Kodak Ektachrome 400 Polaroid 667 Polaroid 667 und Ilford HP 5 Polaroid 667

2.4. Versuchsaufbau

Mit Hilfe von Stativstangen, die durch Schraubklemmen verbunden waren, konnten die Reflektoren im Wasserbad in jeder beliebigen Position befestigt werden.

Die Führungsarme des Compound-Scanners bzw. des Parallel-Scanners mit Wasservorlaufstrecke ("Vidoson") wurden derart justiert, daß die Transducer- bzw. Applikatoroberfläche jeweils etwa 1 - 2 cm in das Wasserbad eintauchte und somit eine vollständige Ankopplung erreicht war. Bei den anderen Geräten wurde der Schallkopf mit Klebeband und zwei weiteren Stativstangen in die entsprechende Stellung gebracht.

In Abbildung 2 ist der Versuchsaufbau am Beispiel eines Linear-Array Schallkopfes über einem stabförmigen Reflektor schematisch dargestellt.

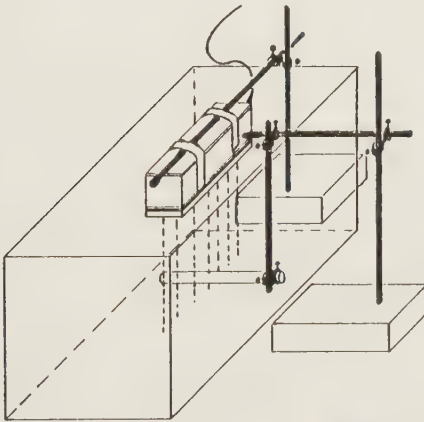


Abb. 2: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus.
(hier: Linear-Array Schallkopf und Holzstab)

2.5. Versuchsdurchführung

Drei grundsätzlich verschiedene Angriffspunkte für Variablen in den Versuchsbedingungen bildeten

- a) die Reflektoren
- b) die Geometrie des Versuchsaufbaus
- c) die Ultraschallgeräte

Im einzelnen waren diese Variablen:

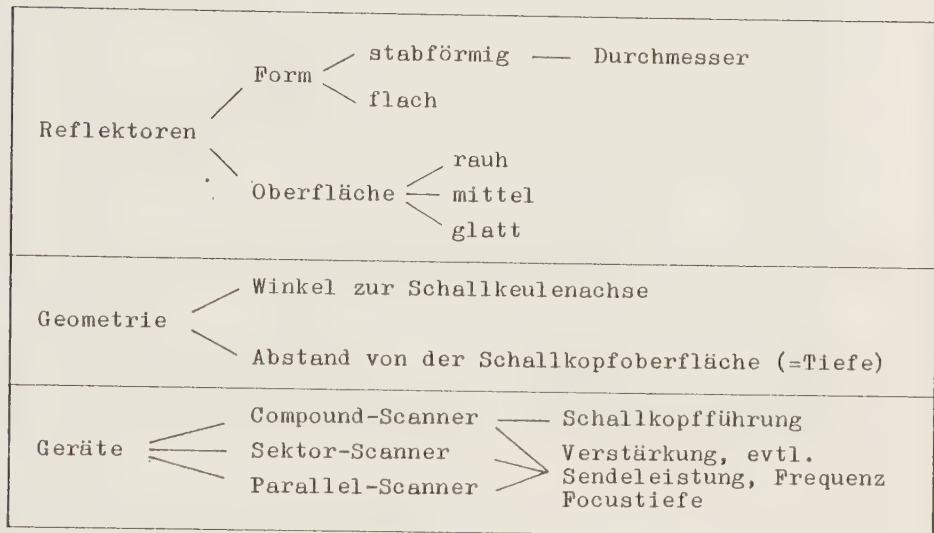
- bei a) die Form und die Oberfläche der Reflektoren
 - bei stabförmigen Reflektoren der Durchmesser
- bei b) der Abstand des Reflektors von der Schallkopfoberfläche (=Tiefe im Wasserbad)
 - der Winkel, unter dem der Reflektor die Schallkeulenchse schneidet
- bei c) die Verwendung verschiedener Gerätetypen
 - die unterschiedliche Einstellung der Verstärkung
 - bzw. der Sendeleistung
 - verschiedene Ultraschallfrequenzen und Focustiefen (soweit möglich)
 - variable Führung des Schallkopfes (beim Compound-Scanner)

Bei Variierung eines der oben genannten Punkte unter Konstanthaltung der anderen wurden die von den Reflektoren ausgehenden Artefakte hauptsächlich qualitativ untersucht. Besondere Aufmerksamkeit wurde dabei auf Unterschiede in der Stärke des Artefaktechos und des primären Reflektorechos, auf Helligkeit, Form und Verlauf des Artefaktechos gelegt.

Einige quantitative Messungen erfolgten mit der in manchen Geräten eingebauten Messeinrichtung oder am Sofortbild bzw. am projizierten Diapositiv des abfotografierten B-Bildes. Zusätzlich wurde noch ein schallabsorbierendes Material an verschiedenen Stellen in den Versuchsaufbau eingebracht und seine Auswirkung auf die Artefakte untersucht.

In den Tabellen 3 und 4 sind die Variablen bei der Versuchsdurchführung und die Kriterien, unter welchen die im Wasserbad entstehenden Artefakte beobachtet wurden, nochmals zusammengefaßt.

Tab. 3: Variablen bei der Versuchsdurchführung



Tab. 4: Beobachtungskriterien

qualitativ	Form, Verlauf, Helligkeitsverteilung und Breite des Artefaktechos Kontrast zu anderen Echos (durch Luftblasen und Reflektor) Artefaktauslöschung durch Schallabsorber
quantitativ	Abstand Artefakt - Schallkopfoberfläche Abstand Reflektor - Schallkopfoberfläche diverse Winkelmessungen

2.6. In vivo Beobachtungen

Untersuchungsgut für in vivo Beobachtungen bildeten sowohl Patienten der Poliklinik der Universität München, als auch speziell für diesen Zweck einbestellte Probanden.

Bei der ersten Gruppe achteten die Untersucher während des Routinebetriebes auf Effekte, die sich eindeutig als Bogenartefakt identifizieren ließen, und hielten sie fotografisch fest.

Bei der zweiten Gruppe wurde versucht, entsprechend den bisher gewonnenen Erkenntnissen über die Entstehung des Bogenartefakts diesen bewußt zu produzieren.

In vitro- und in vivo Erscheinungsbild des Bogenartefakts sollten damit verglichen werden.

Dabei wurden auch allgemeine Beobachtungen über das bevorzugte Erscheinen des Artefakts in bestimmten anatomischen Regionen angestellt.

3. ERGEBNISSE

Die schon aus Tabelle 3 (Seite 9) ersichtliche Vielzahl an möglichen Kombinationen zwischen Reflektoren und Geräten erschwert es, Ergebnisse und die Diskussion der Ergebnisse in eine strenge Systematik zu zwingen.

Es erschien deshalb eine Zweiteilung sinnvoll:

Zuerst soll auf die durch verschiedene Reflektoren verursachten Artefakte und ihre Gemeinsamkeiten eingegangen werden.

Im zweiten Teil wird besprochen, wie sich die Erscheinungsbilder dieser Artefakte bei den einzelnen Geräten typischerweise unterscheiden. Dies gilt besonders für den Sektor-Scanner, dessen etwas andersartig verlaufende Artefakte erst im zweiten Teil beschrieben werden.

3.1. Variablen auf der Reflektorseite

3.1.1. Stabförmige Reflektoren

Wird ein stabförmiger Reflektor von der Schnittebene eines Ultraschallapplikators senkrecht geschnitten, so ist im B-Bild die Querschnittsfläche des Stabes als halber Ring oder als echoreicher, runder Fleck zu sehen (siehe Abbildung 3). Dieses Echo gibt die wirkliche Lage des Stabes wieder. Es erscheint jedoch zusätzlich eine nach unten gebogene, also sich vom Applikator weg krümmende Linie, die ihren Ursprung von der dem Applikator zugewandten Seite des Reflektorechos nimmt. Entlang des Verlaufs dieser Linie befindet sich jedoch keine reflektierende Struktur. Abbildung 3 zeigt dieses Bogenartefakt im B-Bild eines Linear-Array Gerätes.

Die Artefaktlinie erscheint bei jedem Gerät in unterschiedlicher Ausprägung (siehe Kapitel 3.2.); die nach unten konkave Bogenform bleibt jedoch immer gleich (außer Sektor-Scanner!).

Je nach Gerät ist die Linie

- bis zum Bildrand durchgehend oder nur kurz verlaufend,
- kontinuierlich oder teilweise unterbrochen,
- eine feine, dünne Linie, ein dicker Strich oder in mehrere Linien "ausfransend".

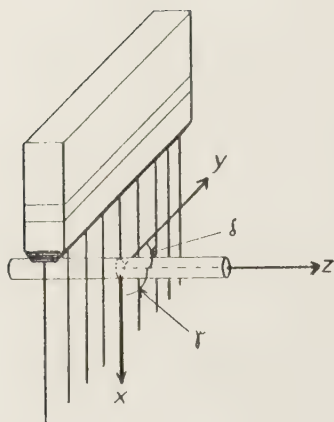


Abb. 3: Versuchsanordnung und entsprechendes B-Bild eines Linear-Array Gerätes (ADR Kranzbühler): Bogenartefakt an einem Holzstab mit 14 mm Durchmesser.
(NB: Wiederholungsecho im Schallschatten des Reflektors)

Den verschiedenen Geräten gemeinsam sind die folgenden Beobachtungen:

Untersuchungen mit Schallabsorber

Wird zwischen Applikator und Reflektor ein schallabsorbierendes Material so eingebracht, daß dessen Schallschatten den Reflektor gerade bedeckt, so verschwindet zwar das Primärecho, das dem Querschnitt des Stabes entspricht, die Artefaktlinie bleibt dadurch jedoch völlig unverändert.

Wird der Schallabsorber nach der Seite verschoben, so erscheint das primäre Reflektorecho wieder; dafür ist jedoch im Artefakt eine der Breite des Schallabsorbers entsprechende Lücke zu sehen. Diese Lücke liegt umso weiter seitlich, je weiter der Schallabsorber nach der Seite oder nach unten verschoben wird. Die Abbildungen 4 und 5 geben diese Zusammenhänge wieder.



Abbildung 4



Abbildung 5

Abb. 4: Bogenartefakt , ausgehend von einem Metallrohr mit 10 mm Durchmesser:
Das Metallrohr (=Reflektor R) liegt vollständig im Schallschatten (SS) eines direkt an der Applikatoroberfläche (AP) angebrachten Schallabsorbers. Deshalb erfolgt keine Darstellung des primären Reflektorechos. Das vom Reflektor ausgehende Bogenartefakt (BA) erscheint jedoch in seiner vollen Länge.

Abb. 5: Wird der Schallabsorber (SA) nach rechts verschoben, so erscheint das primäre Reflektorecho (R) wieder (NB: extreme Schallverstärkung hinter metallischem Reflektor). Die Lücke (L) im Bogenartefakt (BA) liegt jedoch nicht senkrecht unter dem Schallabsorber in dessen Schallschatten, sondern umso weiter seitlich davon, je weiter man den Schallabsorber nach unten oder nach der Seite bewegt.

Abhängigkeit vom Winkel zur Schnittebene

Bogenartefakte sind am deutlichsten zu sehen, wenn die Achse des stabförmigen Reflektors genau senkrecht auf der Schnittebene steht.

Abhängigkeit vom Material des Reflektors

Geringe Abweichungen der Winkel γ oder δ in Abbildung 3 um wenige Grad von der Senkrechten (90°) lassen das Artefakt bei Metallreflektoren schneller verschwinden als bei Holzreflektoren.

Grundsätzlich erscheint die Artefaktlinie bei Reflektoren mit glatter, spiegelnder Oberfläche heller, kontrastreicher und deutlicher begrenzt, während an matten oder rauen Oberflächen eher dunklere und unscharf begrenzte Artefaktechos entstehen.

Unabhängig von der Ausprägung des Artefakts findet sich hinter Holzreflektoren ein Schallschatten, hinter Metallreflektoren eine extreme Schallverstärkung (vgl. Abbildung 3 und Abbildung 5).

Abhängigkeit vom Durchmesser des Reflektors

Besonders in geringen Abständen von der Transduceroberfläche läßt sich eine Abhängigkeit der Krümmung des Bogenartefakts von der Krümmung der reflektierenden Oberfläche erkennen: Von Reflektoren kleinen Durchmessers ausgehende Artefaktlinien sind stärker gekrümmt als Linien, welche von Reflektoren mit großem Durchmesser ausgehen.

Abhängigkeit von der Tiefe

Die Krümmung des Bogens ist bei kleinem Abstand des Reflektors von der Transduceroberfläche am stärksten und wird mit zunehmender Tiefe schwächer. Anhand der senkrechten Kupferdrahtleiter kann dies besonders gut in einem einzigen Bild gezeigt werden:

Die von den obersten Sprossen der Leiter ausgehenden Bogenartefakte sind stärker gekrümmt als die wesentlich flacheren, von den unteren Sprossen ausgehenden.

Dies ist in Abbildung 6 am Schnittbild der Kupferdrahtleiter, hier mit dem Compound-Scanner, zu sehen.

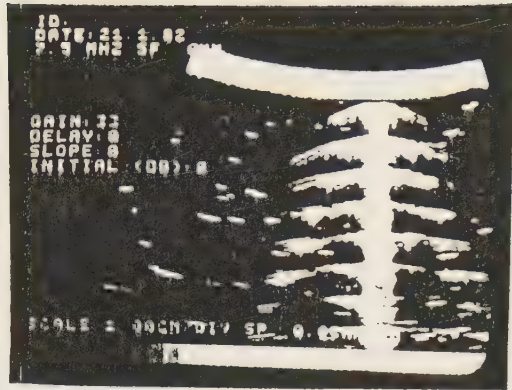
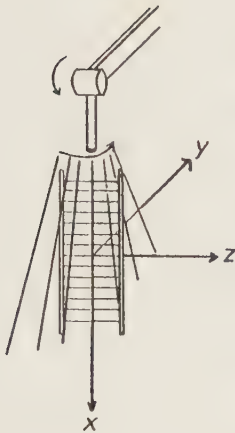


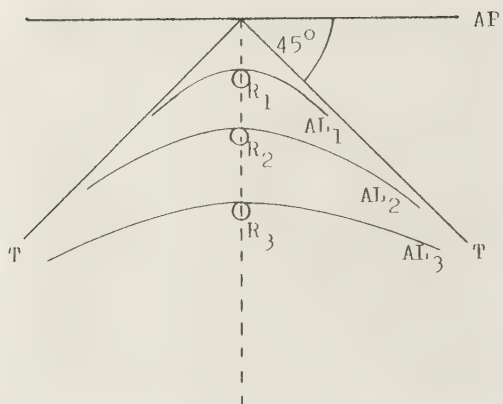
Abb. 6: Abhängigkeit der Krümmung des Bogenartefakts von der Tiefe:
Versuchsaufbau und B-Bild einer senkrechten Kupferdrahtleiter (Compound-Scanner).
Obere Sprossen: Bogen steil und stark gekrümmt,
untere Sprossen: Bogen flach und kaum gekrümmt.

Quantitative Messungen

a) Von stabförmigen Reflektoren ausgehende Bogenartefakte verlaufen nie steiler als unter einem Winkel von 45° zur Senkrechten. Auch Artefaktlinien starker Krümmung (bei kleinem Reflektordurchmesser oder geringem Transducerabstand) erreichen keine höhere Steilheit, sondern nähern sich einer 45° -Tangente asymptotisch an. Wird diese 45° -Tangente durch den Punkt der Applikatoroberfläche, der unmittelbar über dem Reflektor liegt, gezogen, so bildet sie die äußerste seitliche Begrenzung, bis zu welcher sich ein Bogenartefakt höchstens erstreckt. (siehe Abbildung 7)

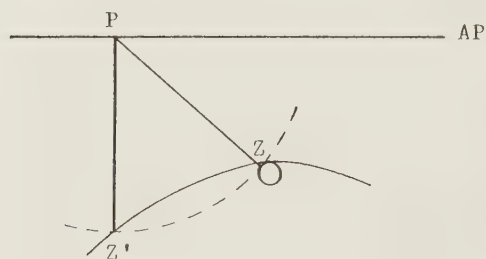
b) Wird von einem beliebigen Punkt des Applikators ausgehend eine senkrechte Linie nach unten gezogen, so ist die Strecke vom Applikator bis zum Schnittpunkt mit der Artefaktlinie (PZ' in Abbildung 8) immer gleich der Strecke bis zur Reflektoroberfläche (PZ in Abbildung 8).

Der Kreisbogen durch das Artefakt Z' und den Reflektor Z mit dem Mittelpunkt P in Abbildung 8 soll dies verdeutlichen.



AP = Applikator-
bzw. Trans-
duceroberfläche
AL = Artefaktlinien
R = Reflektor-
positionen
T = 45°-Tangente

Abb. 7: Begrenzung der seitlichen Ausdehnung und der Steilheit des Bogenartefakts durch 45°-Tangente.



$$\overline{PZ} = \overline{PZ'}$$

Abb. 8: Gleichheit der Strecken zum Reflektor Z und zum Artefakt Z', ausgehend von einem beliebigen Punkt P auf der Applikatoroberfläche.

3.1.2. Ebene Reflektoren

Im vorhergehenden Kapitel wurden die allgemeinen Merkmale von Bogenartefakten, wie sie an stabförmigen Reflektoren entstehen, beschrieben.

Die folgenden Untersuchungen von Artefakten an ebenen Reflektoren beziehen sich auf den in Abbildung 9 gezeigten Versuchsaufbau: Eine ebene reflektierende Fläche, die senkrecht zur Schnittebene liegt, wird um einen bestimmten Winkel α zur y-Achse geneigt. Im B-Bild sind dann nicht nur eine schräge Linie, welche das primäre Reflektorecho darstellt, und ein Wiederholungsecho zu sehen, sondern eine (je nach Gerät auch mehrere) über dem Reflektorecho liegende Artefaktlinie. Wegen des nach unten divergierenden Verlaufs der drei Echos wurde dieser Erscheinung im Lauf dieser Untersuchungen der Name "Fächerartefakt" gegeben.

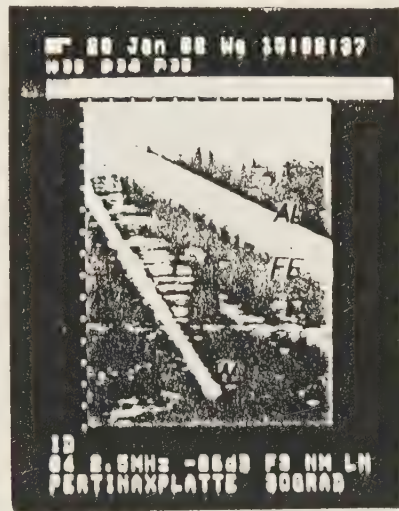
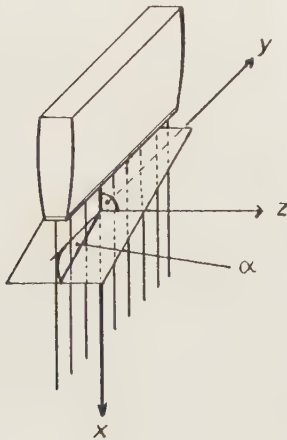


Abb. 9: Versuchsaufbau und B-Bild einer schrägen Fläche mit Fächerartefakt. (Linear-Array Gerät, Siemens Imager)
AL = Artefaktlinie
FE = primäres Flächenecho
W = Wiederholungsecho

Wie beim Bogenartefakt erscheint auch hier die Artefaktlinie in einer für jedes Gerät charakteristischen Ausprägung. Es sollen deshalb auch hier zunächst die allen Geräten gemeinsamen Beobachtungen wiedergegeben werden.

Untersuchungen mit Schallabsorber

Ein schallabsorbierendes Material zwischen Fläche und Applikator verursacht sowohl im primären Flächenecho, als auch im Artefaktecho eine der Breite des Schallabsorbers entsprechende Lücke. Die echofreie Zone im Flächenecho liegt immer direkt unterhalb des Absorbers; dagegen verschiebt sich die Lücke in der Artefaktlinie mit kleiner werdendem Abstand des Absorbers von der Fläche und mit zunehmendem Neigungswinkel der Fläche immer weiter nach lateral (siehe Abbildung 10).



Abb. 10: Fächerartefakt mit Schallabsorber:
Durch den Schallschatten (SS) des Schallabsorbers (SA) entsteht im primären Flächenecho (FE) eine Lücke. Die der Breite des Schallabsorbers entsprechende echofreie Zone in der Artefaktlinie (AL) liegt jedoch seitlich vom Schallschatten.

Abhängigkeit von Winkel zur Schnittebene

Fächerartefakte werden dann sichtbar, wenn eine ursprünglich senkrecht zur Bildebene stehende Fläche um einen bestimmten Winkel α zur y-Achse geneigt wird.

Der Winkel, welchen die Fläche mit der z-Achse einschließt, muß dabei jedoch annähernd 90° bleiben, um die Artefakte am deutlichsten in Erscheinung treten zu lassen.

Abhängigkeit vom Material

Wie beim Bogenartefakt entstehen auch beim Fächerartefakt an glatten Flächen helle, deutliche Artefaktlinien, an rauen Flächen eher ein unscharfer, gegenüber dem primären Flächen-echo oft schlecht abgrenzbarer Echosaum.

Abhängigkeit von der Tiefe

Es wurde bereits erwähnt, daß Artefakt und Flächenecho nach unten zu divergieren; d.h. der Abstand zwischen beiden Linien wird mit zunehmender Tiefe größer.

Quantitative Messungen

a) Obwohl quantitative Messungen bei der Ultraschall Diagnostik wegen begrenztem Auflösungsvermögen und der eventuell ungenauen Wiedergabe über Monitor mit Vorsicht betrachtet werden müssen, wurde hier versucht, einen Zusammenhang zwischen der Neigung der Fläche und der Neigung des Artefakts durch Winkelmessungen zu erkennen.

Dabei seien, wie in Abbildung 11, der Neigungswinkel der reflektierenden Fläche mit α , und der Winkel, welchen die Artefaktlinie mit der Horizontalen einschließt, mit β bezeichnet. Dann zeigt sich, daß der Sinus von α zum Tangens von β direkt proportional ist (Tabelle 5).

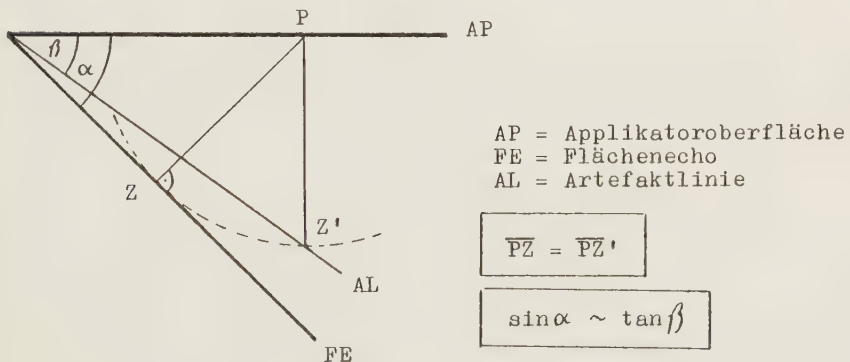


Abb. 11: Definitionen der gemessenen Winkel und Strecken beim Fächerartefakt.

Tab. 5: Zusammenhang zwischen Flächenwinkel α und Artefaktwinkel β beim Fächerartefakt

α	$\sin \alpha$	β	$\tan \beta$
29	0,49	25	0,47
30	0,50	26	0,49
43	0,68	33	0,65
45	0,71	36	0,73
53	0,79	38	0,76
58	0,85	41	0,87
60	0,87	41	0,87
88	0,99	45	1,00

b) In Abbildung 11 ist noch ein weiteres Ergebnis quantitativer Messungen zu sehen: Wählt man einen beliebigen Punkt auf der Applikatoroberfläche, so ist die Strecke bis zu dem senkrecht unter diesem Punkt liegenden Artefakt (PZ') gleich der kürzesten Verbindungslinie zum Flächenecho (PZ).

Die wichtigsten qualitativen Beobachtungen dieses (allgemeinen) Abschnitts sind in Tabelle 6 zusammengefaßt.

Tab. 6: Die wichtigsten geräteunabhängigen, qualitativen Beobachtungen beim Bogen- und Fächerartefakt in Abhängigkeit von variierten Versuchsbedingungen.

(↑ = Zunahme, ↓ = Abnahme, / = keine Beziehung)

variierte Bedingungen									
	F O R M		T I E F E		M A T E R I A L		R E F L E X I O N S - W I N K E L		
	<u>Stab:</u> Durchmesser klein groß	<u>Fläche:</u> Neigungswinkel klein groß	Schallkopf- -nah -fern		Oberfläche rauh glatt		→ 90° ± 90°		
Grundform	Bogen		Gerade						
Krümmung	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑
Steilheit	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑
Breite	/	/	/	/	↑	↓	/	/	/
Helligkeit	/	/	/	/	↓	↑	↑	↓	↓

Auswirkung auf das Artefakt

3.2. Variablen auf der Geräteseite

Die bisher beschriebenen Eigenschaften von Artefakten an stabförmigen und ebenen Reflektoren sind im wesentlichen an allen Geräten (außer Sektor-Scanner) zu beobachten. Nun sollen die speziell für jedes Ultraschallgerät typischen Ausprägungen von Bogen- und Fächerartefakten besprochen werden.

3.2.1. Compound-Scanner Unirad EDP 1000

Bogenartefakt

Bogenartefakte treten hier in Form von zwei bis drei feinen, dünnen Linien auf, die gegen Ende des Bogens wie Fransen etwas divergieren. In Abbildung 12 ist dies am B-Bild eines 1 cm dicken Metallreflektors gut zu sehen. Auch hier findet sich wieder die Metallreflektoren eigene, extreme "dorsale" Schallverstärkung.

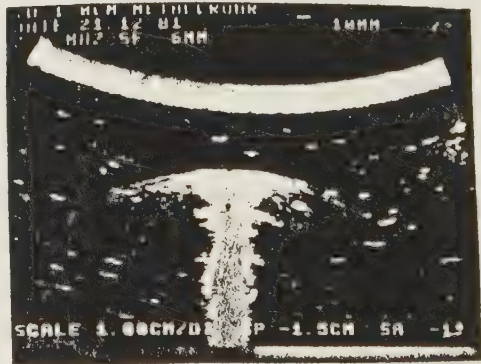
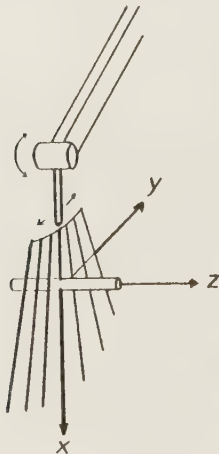


Abb. 12: Versuchsaufbau und B-Bild eines 1 cm dicken Metallrohres (Compound-Scanner):
Das Bogenartefakt besteht aus mehreren dünnen Linien. (NB: extreme Schallverstärkung hinter Metallreflektor)

Wie im Schnittbild der Kupferdrahtleiter (Abbildung 6, Seite 15) zu erkennen, befinden sich Strecken größerer und geringerer Helligkeit in den Artefaktlinien. Der Abstand der Helligkeitsmaxima vom Reflektorecho wird mit zunehmender Tiefe größer.

Werden die Maxima, wie in Abbildung 13 gezeigt, miteinander verbunden, so schließt diese Linie mit der Senkrechten einen Winkel von ca. 29° ein.

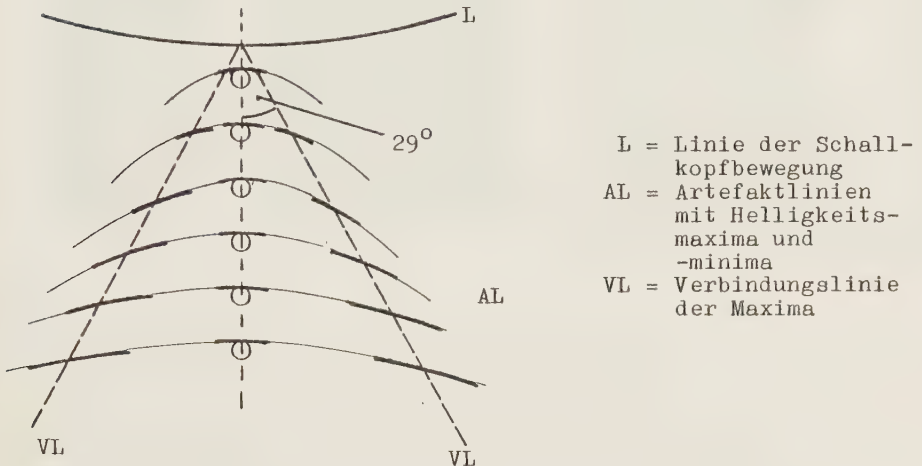


Abb. 13: Schemazeichnung zu Abbildung 6 (Seite 15), Schnittbild einer senkrechten Kupferdrahtleiter:
Die Verbindungslinie der Helligkeitsmaxima in den Bogenartefakten bildet mit der Senkrechten einen Winkel von 29° .

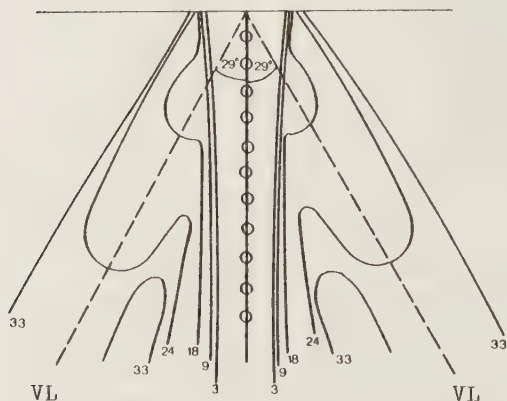
Änderungen der Verstärkung und der Sendeleistung haben auf die Artefaktlinien und deren Helligkeitsverteilung folgende Auswirkungen: Grundsätzlich bietet niedrige Sendeleistung bei hoher Verstärkung das selbe Bild wie hohe Sendeleistung bei niedriger Verstärkung. Bei letzterer Kombination ist jedoch die Bildqualität und die Abgrenzbarkeit der Artefaktechos von den Umgebungsechos wesentlich besser. Wird die Verstärkung langsam reduziert, so verschwinden zunächst die Artefaktechos geringerer Helligkeit, sodaß die Artefaktlinie unterbrochen erscheint. Bei niedriger Verstärkung sind auch die Helligkeitsmaxima nicht mehr zu sehen, sondern nur noch die primären Reflektorechos, die entsprechend der lateralen Auflösung des Gerätes in die Breite gezogen sind.

Abbildung 14 zeigt hierzu drei Schnittbilder der Kupferdrahtleiter mit drei unterschiedlichen Verstärkereinstellungen des Compound-Scanners.



Abb. 14: Schnittbilder der Kupferdrahtleiter mit dem Compound-Scanner, von links nach rechts abnehmende Verstärkung.

Werden die Endpunkte der bei einer bestimmten Verstärkung noch zu sehenden Artefaktlinien markiert, und diese Marken für jede Verstärkereinstellung verbunden, so entsteht das in Abbildung 15 wiedergegebene Bild. Höhenlinien einer Landkarte ähnlich, stellen die Linien hier jeweils Orte gleicher Verstärkereinstellung dar.



○ = einzelne Sprossen
der Kupferdraht-
leiter
VL = Verbindungslinie
der Helligkeits-
maxima

Abb. 15: Sichtbarkeit des Bogenartefakts in Abhängigkeit von der Verstärkung:
Die mit Nummern versehenen Linien bezeichnen die Grenzen, innerhalb welcher bei der jeweiligen Verstärkereinstellung ($\approx$ Zahl) Artefaktlinien zu sehen sind.

Verwendung verschiedener Schallköpfe mit Frequenzen von 2,5 bis 7,5 MHz hat auf das Grundmuster des Bogenartefakts keinen Einfluß. Lediglich bei niedriger Verstärkung ist der mit steigender Frequenz nach oben wandernde Focusbereich an der Abnahme der Breite der primären Reflektorechos zu erkennen.

Die besondere Konstruktion des Compound-Scanners (schwenkbarer Schallkopf an beweglichem Scan-Arm) erlaubt eine Untersuchung des Bogenartefakts, die bei allen anderen Geräten nicht möglich ist: die Form des Artefakts bei beliebig variierten Schallkopfbewegungen und Scan-Richtungen.

Wird der Schallkopf entlang einer Geraden geführt (z.B. längs eines Lineals), sodaß ein Parallel-Scan entsteht, zeigt sich das Artefakt wie bei allen Linear-Array Geräten als eine nach unten geöffnete Hyperbel. Dagegen ist, wie beim Sektor-Scanner, ein nach oben geöffneter Kreisbogen zu sehen, wenn der Schallkopf um einen Punkt auf der Transduceroberfläche gedreht wird. Zwischen diesen beiden Extremen liegt die Bewegung des Schallkopfes entlang eines Kreisbogens mit strahlenförmig divergierender Scan-Richtung. Wie in Abbildung 16 dargestellt, besteht hier das Artefakt aus einer Mischform zwischen nach unten konkaver Hyperbel und nach oben konkavem Kreisbogen.

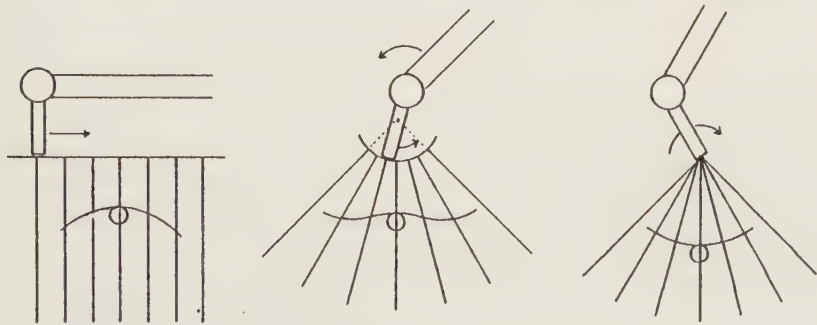


Abb. 16: Artefaktform bei variabler Schallkopfführung:

links: Parallel-Scan

rechts: Sektor-Scan

Mitte: Mischform

•



11

Fächerartefakt

Beim Compound-Scanner äußert sich das Fächerartefakt in Form einer oder manchmal auch zweier eng beieinander liegender Linien, die je nach Schallkopfführung gerade oder, wie in Abbildung 18, leicht nach oben gebogen sein können. Bei Neigungswinkeln der reflektierenden Fläche von 20° - 40° wird es am deutlichsten beobachtet.

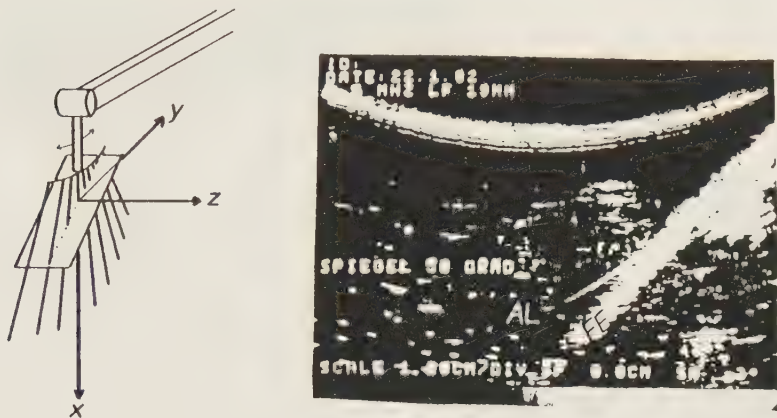


Abb. 18: Versuchsaufbau und B-Bild eines Fächerartefakts beim Compound-Scanner:

FE = primäres Flächenecho

AL = Artefaktlinie

Ein dem Fächerartefakt verwandter Effekt kann speziell bei diesem Gerät beobachtet werden: Wird die Fläche nicht in der Weise geneigt, daß sie mit der y-Achse einen Winkel bildet, sondern so, daß sie mit der z-Achse einen bestimmten Neigungswinkel einschließt, so sieht man über dem jetzt waagrechtten Flächenecho eine oder zwei ebenfalls waagrechte Artefaktlinien. Bei zunehmendem Neigungswinkel der Fläche verbreitert sich das primäre Flächenecho (Schichtdickenartefakt nach (4) und (20)), und der Abstand der Artefaktlinie vergrößert sich. Auch dieser Effekt ist am deutlichsten bei einem Flächenneigungswinkel von 20° bis 40° .

Abbildung 19 zeigt die gegenüber den bisherigen Untersuchungen geänderte Flächenneigung und das zugehörige B-Bild.

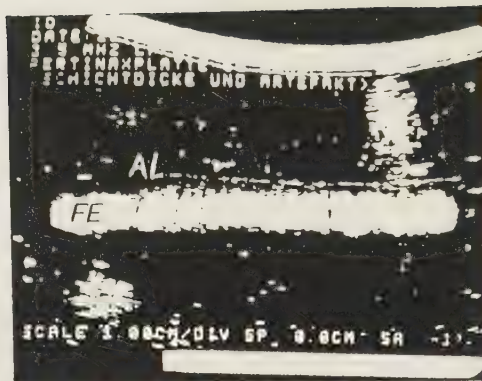
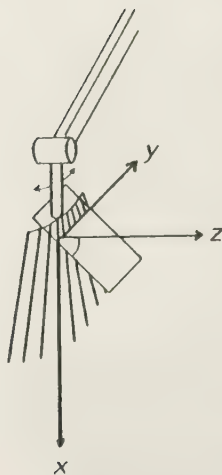


Abb. 19: Versuchsaufbau und B-Bild bei Neigung der Fläche gegen die z-Achse (Compound-Scanner): Oberhalb des erheblich verbreiterten (= Schichtdickenartefakt) Flächenechos (FE) ist eine feine Artefaktlinie zu erkennen (AL).

Im Gegensatz zu anderen Geräten treten beim Compound-Scanner zusätzlich zu den Artefakten in der Bildebene (x-y-Ebene) also auch Artefakte in der darauf senkrecht stehenden x-z-Ebene auf.

Bogen- und Fächerartefakte sind bei den folgenden Geräten (Sektor- und Parallel-Scanner) nicht nur im stehenden, sondern auch im bewegten Real-time Bild zu sehen.

3.2.2. Sektor-Scanner Technicare Autosector

Hier entstehen sowohl an stabförmigen, als auch an flachen Reflektoren nach oben geöffnete Kreisbögen. Der Radius dieser Bögen ist gleich der kürzesten Entfernung des Reflektors vom Schallkopf; den Mittelpunkt bildet der Schallkopf selbst. Die Abbildungen 20 und 21 zeigen, wie die Artefakte von der jeweils dem Schallkopf nächstliegenden Stelle des Reflektors ihren Ursprung nehmen und als Saum feiner Echos gleichmäßig und bogenförmig nach oben ziehen.

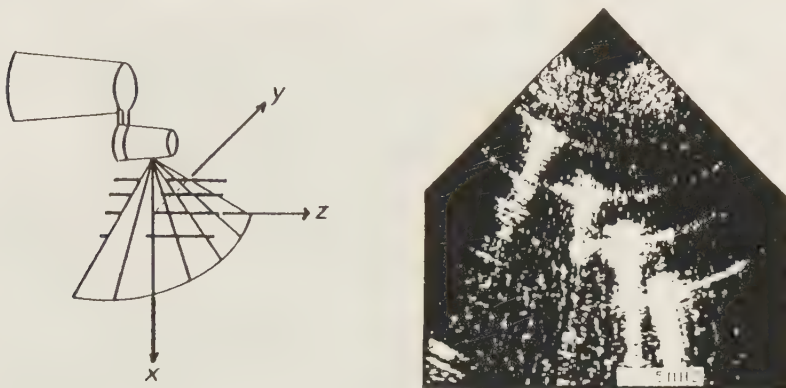


Abb. 20: Versuchsaufbau und B-Bild von vier stabförmigen Metallreflektoren (Sektor-Scanner).

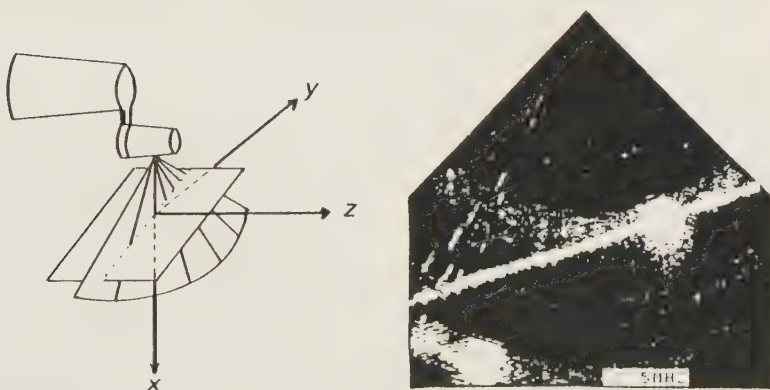


Abb. 21: Versuchsaufbau und B-Bild einer schrägen reflektierenden Fläche (Sektor-Scanner).

Nicht nur in Bezug auf die Form der Artefakte, sondern auch bei den Untersuchungen mit Schallabsorber nimmt der Sektor-Scanner eine Sonderstellung ein: Ein schallabsorbierendes Material im Schallweg hat auf die Artefaktentstehung nur dann einen Einfluß, wenn der Ausgangspunkt des Artefakts voll im Schallschatten des Absorbers liegt. Wird nur dieser eine Punkt abgedeckt, so ist das ganze Artefakt nicht mehr zu sehen (siehe Abbildung 22).



Abb. 22: Auslöschung des ganzen Artefakts durch Schallabsorber über dem schallkopfnächsten Punkt der Fläche beim Sektor-Scanner. Ansonsten gleicher Versuchsaufbau wie in Abbildung 21.

Beim Sektor-Scanner läßt sich also im Gegensatz zu anderen Geräten die Unterscheidung zwischen Bogen- und Fächerartefakt nicht treffen. Die Artefakte, welche an stabförmigen Reflektoren einerseits, und jene, welche an flachen Reflektoren andererseits entstehen, haben ein identisches Aussehen.

3.2.3. Parallel-Scanner

3.2.3.1. Toshiba Sonolayer L (SAL 20 A)

Das Bogenartefakt erscheint hier als breite, selten zweigeteilte Linie mit Helligkeitsmaxima und -minima, die deutlich von der Sendeleistung und von der Verstärkung abhängig sind. In Abbildung 23 sind bei niedriger Sendeleistung nur die verbreiterten Echos der einzelnen quergeschnittenen Sprossen der Kupferdrahtleiter zu sehen, welche die laterale Auflösung des Gerätes angeben. Bei Erhöhung der Sendeleistung erscheinen neben den Primärechos die ersten Maxima des Bogenartefakts. Bei hoher Sendeleistung sind auch die Minima zwischen Primärecho und Maximum fast in gleicher Helligkeit zu sehen.

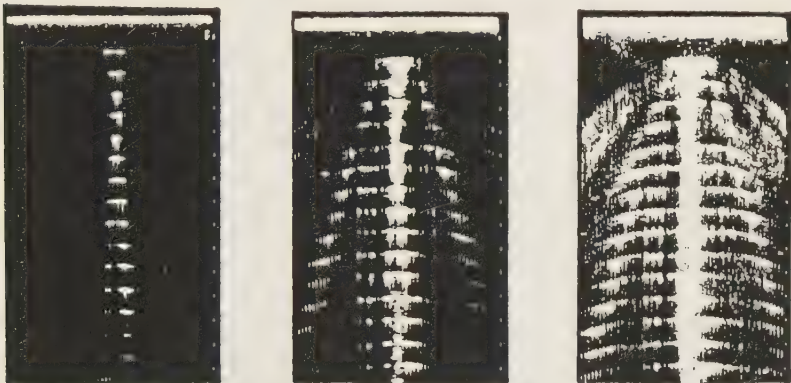


Abb. 23: Schnittbilder der Kupferdrahtleiter mit Toshiba Sonolayer bei verschiedenen Sendeleistungen: 40, 50, 60 dB
(Versuchsaufbau wie Abbildung 25)

Die Verbindungslinie der Helligkeitsmaxima bildet mit der Senkrechten hier einen Winkel von etwa 18° .

Fächerartefakte sind bei Reflektoren mit glatter Oberfläche nur bis zu einem Neigungswinkel von ca. 60° zu beobachten. Dagegen erscheinen bei rauen Oberflächen sogar bis fast 90° Neigung noch Artefaktlinien. Außerdem hebt sich, wie Abbildung 24 zeigt, bei rauen Oberflächen deutlich eine zweite Artefaktlinie hervor.



Abb. 24: Schnittbild einer schrägen
rauen Fläche (Sandpapier) mit Toshi-
ba Sonolayer:
Außer dem Flächenecho (FE) sind zwei
Artefaktlinien (AL) zu sehen.
(Versuchsaufbau wie Abbildung 9,
Seite 17)

Bei senkrechter Stellung der Fläche bildet diese zusätzliche Linie (wie die Verbindungslinie der Bogenartefakt-Maxima in Abbildung 23) mit der Senkrechten einen Winkel von 18° , die normale Fächerartefakt-Linie einen Winkel von 45° .

3.2.3.2. Siemens Imager 2380

Wie aus Abbildung 25, einem Schnittbild der Kupferdrahtleiter, ersichtlich, entsteht hier kein eigentlicher Bogenartefakt, sondern jeweils nur ein einziges artefizielles Echo, lateral vom Primärecho jeder Sprosse. Mit diesem steht es nur über einen sehr feinen, gebogenen Echosaum in Verbindung.

Wird wieder eine Verbindungslinie durch die einzelnen Nebenmaxima gezogen, so entsteht eine Gerade mit einem Winkel von 28° zur Senkrechten.

Auch das Fächerartefakt erscheint nur in einem ganz diskreten Bereich, nämlich nur bei Neigungswinkeln der Fläche von etwa 30° - 32° (siehe auch Abbildung 9, Seite 17).

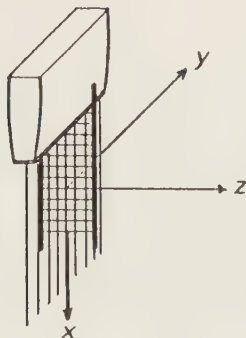


Abb. 25: Schnittbild der Kupferdrahtleiter mit Siemens Imager; Die Bogenartefakte konzentrieren sich jeweils auf ein einziges Nebenmaximum.

3.2.3.3. ADR Kranzbühler 2131

Mit diesem Gerät beobachtete Bogenartefakte zeigen die Abbildungen 3,4 und 5 (Seite 13). Hier und am Schnittbild der Kupferdrahtleiter in Abbildung 26 ist zu erkennen, daß das Bogenartefakt aus drei feinen Linien mit einem besonders im schallkopfnahen Bereich sichtbaren, breiten lateralen Helligkeitsmaximum besteht.

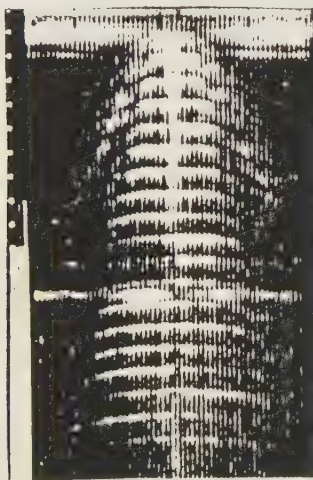


Abb. 26: Schnittbild der Kupferdrahtleiter mit ADR Kranzbühler. (Versuchsaufbau wie in Abbildung 25)

3.2.3.5. Siemens Vidoson 735 SM

Hier wird nur bei guten Reflexionsbedingungen und optimaler Geräteeinstellung eine feine, dünne Linie, von stabförmigen Reflektoren ausgehend beobachtet, die unabhängig von der Entfernung zur Applikatoroberfläche eine Neigung von ca. 11° hat. Dabei kann nicht entschieden werden, ob es sich um einen sehr schwach gekrümmten Bogen oder um eine Gerade handelt. Die gleiche Linie erscheint als Fächerartefakt bei Neigungswinkeln der Fläche bis etwa 15° .

3.3. In- vivo Beobachtungen

Bogen- und Fächerartefakte konnten hauptsächlich in der Gallenblase, aber auch in der Harnblase, der Leber und in der von Aszites ausgefüllten Bauchhöhle beobachtet werden. Tabelle 7 soll wiedergeben, von welchen anatomischen Strukturen die Artefakte dabei ausgehen. Auf weitere in-vivo Beobachtungen wird in der Diskussion der Ergebnisse unter 4.6.2. und 4.6.3. noch näher eingegangen.

Tab. 7: Bogen- und Fächerartefakte in verschiedenen Organen.

Organ	reflektierende Struktur bei	
	Fächerartefakt	Bogenartefakt
Gallenblase	Rückwand	Darmschlinge
Harnblase	Rückwand	Impression der Wand durch Nachbarorgan
freie Bauchhöhle (bei Aszites)	-	Darmschlinge
Leber (5)	-	Wirbelsäule

4. DISKUSSION

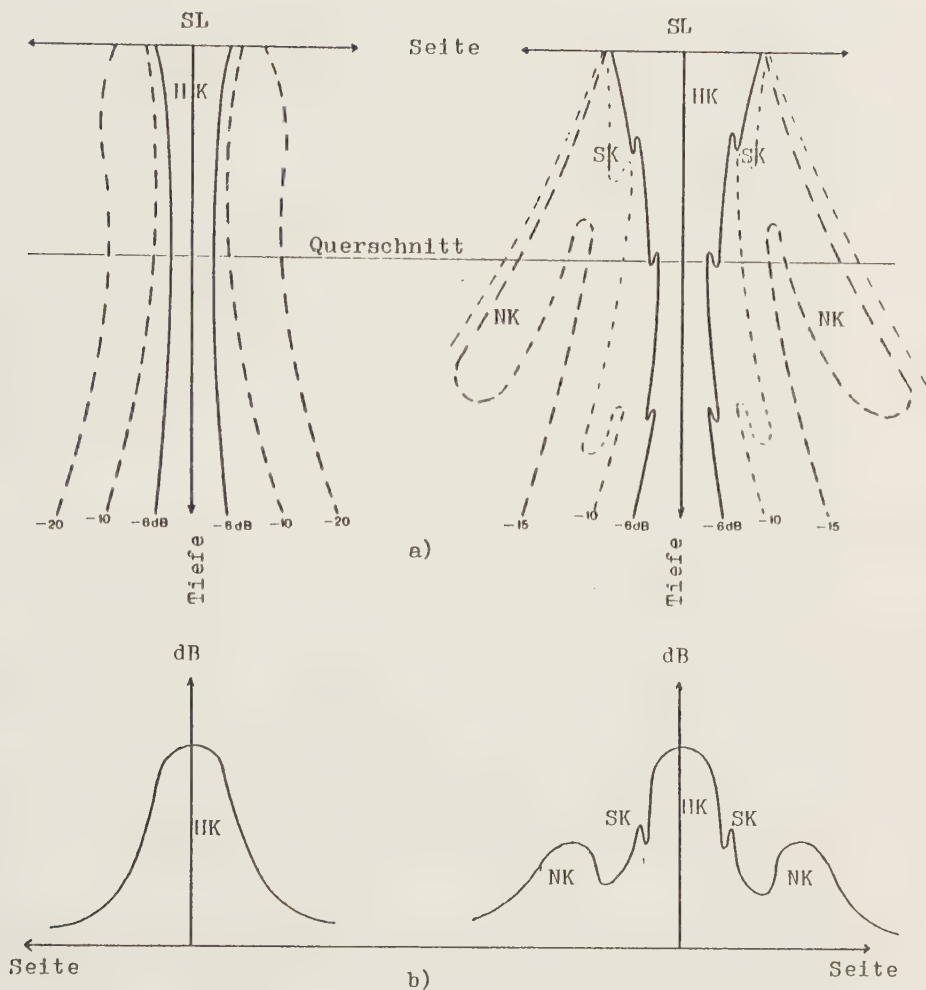
4.1. Arbeitshypothese

Die Signalverarbeitung in der Ultraschalldiagnostik geht von der stark vereinfachten Annahme aus, daß sich die Schallimpulse vom Transducer weg nur entlang einer Geraden, dem Mittellot oder der sogenannten "Sichtlinie", ausbreiten. Jedes Echo, das zum Transducer zurückkommt, wird so verarbeitet, als ob es von einem der Laufzeit des Echos entsprechend tiefen Punkt auf dieser Sichtlinie ausginge. In Wirklichkeit jedoch wird die Schallenergie in Form einer komplizierten räumlichen Verteilung ausgestrahlt, die als Ultraschallfeld bezeichnet wird. Die Entstehung des Ultraschallfeldes hat man sich folgendermaßen vorzustellen:

Die schwingende Transduceroberfläche kann nach dem Huygensschen Prinzip als eine Reihe getrennter, punktförmiger Zentren von einzelnen Elementarwellen betrachtet werden (38, 57, 58). Diese Elementarwellen sind im wesentlichen monochromatisch, das heißt, sie haben zum gleichen Zeitpunkt die gleiche Frequenz, und sie sind kohärent, das heißt, sie schwingen in Phase (8, 35). Monochromasie und Kohärenz sind die Voraussetzungen für Interferenzerscheinungen, deren Maxima und Minima die Energieverteilung im Schallfeld bestimmen. Wegen der kurzen Impulsdauer und der unterschiedlichen Entfernungen der einzelnen Zentren der Elementarwellen zu einem bestimmten Feldpunkt kann das Feld in Abhängigkeit von der Zeit seine Form ändern (47, 58).

Abgesehen von der für die Ultraschalldiagnostik weniger bedeutenden mathematischen Darstellbarkeit (25, 34, 47, 57), läßt sich das Schallfeld durch akustisch-optische Brechungseffekte gut veranschaulichen ("Schlierenoptik") (24, 25, 33, 35). Wie Abbildung 28 zeigt, ist die Schallenergie auf unterschiedliche Bereiche verteilt:

Auf die Hauptkeule entfallen meist etwa 85% der Energieausbreitung (30). Sie hat eine sanduhrähnliche Form mit einem konvergierenden Nahfeld, einem divergierenden Fernfeld und einem dazwischen liegenden Focus.



Nahfeldlänge und Divergenz des Fernfeldes sind von der Form der Transduceroberfläche und von der Frequenz abhängig (39). Die zentrale Achse (= Mittelloß der Hauptkeule ist mit der oben erwähnten Sichtlinie identisch. Als Grenze der Hauptkeule wurde diejenige Linie definiert, bis zu welcher die Schallintensität mindestens noch die Hälfte der Maximalintensität beträgt, also die -6 dB - Linie (16, 21).

Jenseits der -6 dB - Linie fällt die Schallintensität nicht sofort auf den Wert null ab. Je nach Focussierung kann sie kontinuierlich nach lateral abklingen (21); die Linien gleicher Intensität scharen sich dann zwiebelschalenförmig um die Hauptkeule. Aber auch eine stufenweise Abnahme der Intensität in Form von Seitenkeulen ist möglich (34). Schließlich können seitlich der Hauptkeule Nebenkeulen entstehen, in welchen die Schallintensität kurzfristig wieder zunimmt (13, 34, 36, 41, 57).

Bei kreisförmigen Ultraschallsendern ist das Schallfeld um die Schallkeulenachse rotationssymmetrisch; bei den rechteckigen Elementen der Multielement-Linear-Array Schallköpfe ist dies nicht der Fall. Hier wird quer zum Array (in z-Richtung) meist eine gute Focussierung durch akustische Linsen erreicht. Wegen der Zusammenschaltung mehrerer Elemente zu Gruppen entstehen jedoch in Richtung der Anordnung der Elemente (y-Richtung) oft Seiten- und Nebenkeulen (13).

Die Breite der Hauptkeule ist für eine schlechte laterale Auflösung (1) und für Schichtdickenartefakte (4, 20) verantwortlich.

Die außerhalb der Hauptkeule ausgesendeten Schallimpulse haben zwar eine um ca. 15-20 dB niedrigere Intensität (57), können aber bei guten Reflexionsbedingungen die laterale Auflösung extrem verschlechtern und Artefakte verursachen:

Wird von einem seitlich liegenden Reflektor genügend Energie zum Transducer zurück reflektiert, behandelt das Gerät dieses Echo als von einem Punkt auf der Sichtlinie ausgehend.

Die in dieser Arbeit untersuchten Artefakte beruhen also auf der Tatsache, daß ein Schallkopf, bzw. bei einem Linear-Array Gerät die eingeschaltete Gruppe, auch nach der Seite "sehen" kann.

4.2. Entstehung des Bogenartefakts

In Abbildung 29 sei P die Mitte einer momentan eingeschalteten Elementgruppe eines Linear-Array Gerätes bzw., bei einem Compound-Scanner, die augenblickliche Schallkopfposition. Wie oben erwähnt, breitet sich die Schallenergie nicht nur entlang der von P ausgehenden Sichtlinie, sondern auch nach der Seite aus. Dabei kann vom stabförmigen Reflektor Z so viel Energie zurück reflektiert werden, daß das Gerät einen Echoimpuls registriert. Dieser Impuls wird jedoch einem Punkt Z' auf der Sichtlinie in einer Tiefe, wie es der Laufzeit des Impulses entspricht, zugeordnet und dort als artefizielles Echo aufgezeichnet.

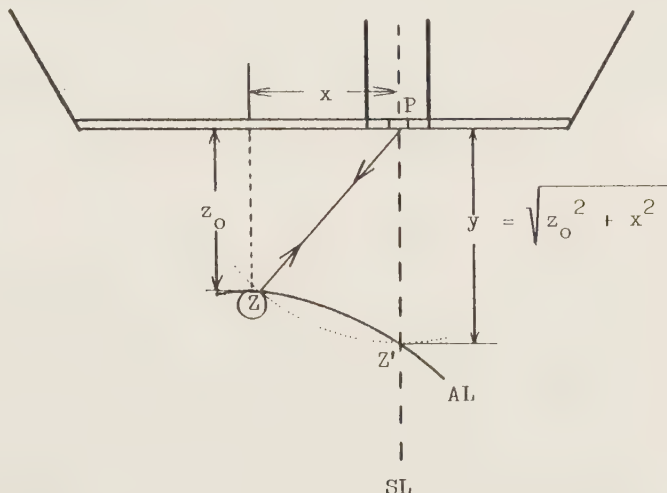


Abb. 29: Entstehung des Bogenartefakts an stabförmigen Reflektoren durch Schallausbreitung in seitlicher Richtung (nach (62)):

P = eingeschaltete Gruppe bzw. Schallkopfposition beim Compound-Scanner
 SL= Sichtlinie = Schallkeulenachse
 Z = Reflektor (Ziel)
 Z'= Darstellung des Reflektors
 AL= Artefaktlinie

Die Entfernung der momentan zeichnenden Gruppe vom senkrecht über dem Reflektor liegenden Punkt ("x") und die Entfernung des Reflektors von der Transduceroberfläche ("z₀") bilden jeweils die Katheten eines rechtwinkligen Dreiecks mit dem Schallweg $\overline{PZ}$ als Hypothense. Dann errechnet sich die Tiefe des aufgezeichneten Artefaktpunkts ("y") zu

$$y = \overline{PZ}' = \overline{PZ} = \sqrt{z_0^2 + x^2} \quad (\text{nach (62)})$$

(Hyperbelgleichung)

Durch Verändern der beiden Variablen z₀ und x kann das Verhalten des Bogenartefakts in verschiedenen Tiefen ermittelt werden.

In geringer Tiefe sei z₀ sehr viel kleiner als x, im Extremfall gleich null. Dann vereinfacht sich die Hyperbelgleichung zu

$$y = x ,$$

der Gleichung einer Geraden mit 45° Steigung.

In großer Tiefe ist x sehr viel kleiner als z₀, ebenfalls im Extremfall gegen null gehend. Die Gleichung lautet dann

$$y = z_0 .$$

Dies stellt eine waagrechte Linie durch den Punkt Z dar.

Diese einfache mathematische Überlegung zeigt, was auch durch Zeichnung mit Lineal und Zirkel anschaulich wird und unter 3.1.1.) beobachtet wurde:

Die Bogenartefakte verlaufen in der Tiefe flach, werden mit zunehmender Annäherung an die Transduceroberfläche steiler und stärker gekrümmt, ihre Steigung überschreitet nie 45°. Die Geometrie der Abbildung 29 ist natürlich nur für Linear-Array Geräte und für lineare Schallkopfführung beim Compound-Scanner gültig. Da Bogenartefakte jedoch auch bei anderen Geräten zu sehen sind (siehe 4.4.) und dort keinen hyperbolischen Verlauf haben, wurde in dieser Arbeit der Name "Hyperbelartefakt" aus der Literatur (39, 62) nicht übernommen, sondern die allgemeinere Bezeichnung "Bogenartefakt" gewählt.

Bei der gelegentlich beobachteten Teilung des Artefakts in mehrere feine Linien wirkt sich die Breite des Transducers bzw. der Einzelelemente aus. Wie Abbildung 30 zeigt, erreicht ein Schallimpuls vom reflektorabgewandten Rand des Transducers sein Ziel später als ein von der Mitte oder vom reflektorzugewandten Rand ausgehender. Je nach Wellenlänge, Gangunterschied und Impulsdauer können sich dabei einzelne Elementarwellen gegenseitig zu Maxima verstärken oder zu Minima auslöschen (8). Dies kann zur Aufzeichnung von mehreren, kurz aufeinanderfolgenden Echos führen (17).

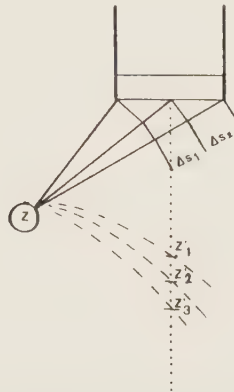


Abb. 30: Durch die Breite des Ultraschallsenders und die seitliche Lage des Reflektors (Z) werden Echos unterschiedlicher Weglängen Δs_1 und Δs_2 aufgezeichnet (Z'_{1-3}).

Auch der Wechsel zwischen ungerader und gerader Anzahl zusammengeschalteter Einzelelemente bei einem Linear-Array Schallkopf, wobei sich die Sichtlinie jeweils um eine halbe Elementbreite verschiebt, kann zu Mehrfachregistrierungen von Echos führen, die von lateral kommen (5).

Die niedrigeren Schallintensitäten außerhalb der Hauptkeule bedingen, daß der Winkel der Schnittebene zur Stabachse annähernd 90° betragen muß. Nur bei senkrechter Reflexion wird für die Registrierung eines Echos genügend Energie zurückgeworfen. Dies erklärt auch die Beziehung zwischen Helligkeit des Artefaktechos und dem Material des Reflektors. Die Streuung der Intensität über mehrere Winkelgrade durch rauhe, diffus reflektierende Oberflächen führt zu einem unscharf

begrenzten, dunkleren Artefakt, als die genau den Reflexionsgesetzen folgende Spiegelung an glatten Oberflächen. Die hinter Metallreflektoren beobachtete Schallverstärkung kann auf Resonanzschwingungen des Metalls beruhen, die das Reflexionsecho stark verlängern (27). Dies hat aber für die Ultraschalldiagnostik allenfalls bei der Suche nach metallischen Fremdkörpern praktische Bedeutung (59). Neuerding wird dafür auch eine Vielzahl von Wiederholungsechos innerhalb des Reflektors als Ursache diskutiert (61).

Die Untersuchungen mit Schallabsorber zeigen eindeutig, daß die für die Entstehung des Bogenartefakts nötige Schallenergie nicht aus der Hauptkeule kommt. Auch wenn der Reflektor ganz im Schallschatten des Absorbers liegt, also von keiner Hauptkeule getroffen wird, ist das Artefakt zu sehen ^{x)}. Bei dieser Konstellation können ihn nur Nebenkeulen der seitlich liegenden Elemente erreichen. Wird der Absorber nach der Seite verschoben, so findet sich eine Lücke in der Artefaktlinie immer unter derjenigen Elementgruppe, deren seitliche Schallabstrahlung auf den Reflektor durch den Schallabsorber "abgefangen" wird (siehe Abbildung 31 auf der folgenden Seite).

Ein gutes Testobjekt zur einfachen Darstellung des Schallfeldes ist die Kupferdrahtleiter wegen ihrer senkrecht untereinander angeordneten dünnen Reflektoren. Die Helligkeitsmaxima in den einzelnen Bogenartefakten geben die Lage der Nebenkeulen mit höherer Schallintensität an. Dabei ist die geometrische Beziehung zwischen dem wirklichen Winkel θ der Nebenkeule und dem Winkel φ , unter welchem die Verbindungslinie der Helligkeitsmaxima im Bild erscheint, durch die Gleichung $\sin \theta = \tan \varphi$ (26) gegeben (siehe auch Appendix I).

x) Die unveränderte Sichtbarkeit des Artefakts bei Abschirmung der Hauptkeule der über dem Reflektor liegenden Elementgruppe diente auch zur Überprüfung der Versuchsanordnung. Es konnte damit ausgeschlossen werden, daß die stabförmigen Reflektoren mit den hohen Schallintensitäten der Hauptkeule im Wasserbad selbst in Wechselwirkung treten. Denkbar wäre dabei, daß der Stab im Resonanzfall selbst ein Ultraschallfeld ausstrahlt (14), oder daß sog. Kriechwellen um den Stab herum gebeugt und als Echo registriert werden (44, 45). Beide Effekte hätten die Beobachtung der Artefakte im Wasserbad unter Umständen stören können.

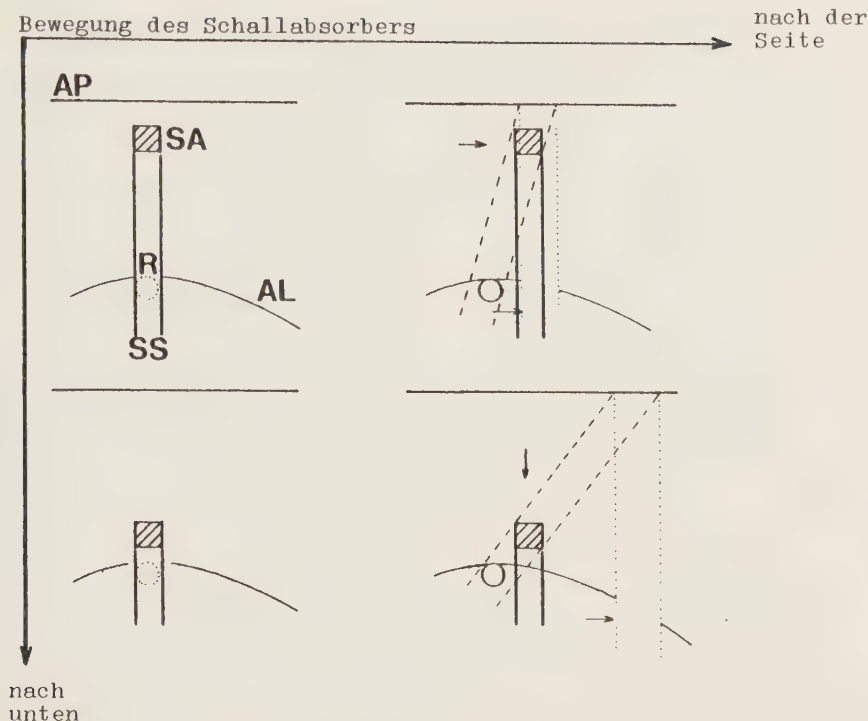


Abb. 31: Zusammenhang zwischen Lage des Schallabsorbers und Lücke in der Artefaktlinie beim Bogenartefakt.

AP = Applikator, SA = Schallabsorber,
R = Reflektor, SS = Schallschatten,
AL = Artefaktlinie

Bei dickeren zylindrischen Reflektoren kann die Auswirkung des Durchmessers auf den Artefaktverlauf nicht mehr vernachlässigt werden. Dies bedeutet eine Erweiterung der Hyperbelgleichung um die Variable r (= Radius des Reflektors) zu

$$y = \overline{PZ}' = \overline{PZ} = \sqrt{(z_0 + r)^2 + x^2} - r$$

Da der von der Wurzel subtrahierte Parameter r über den in der Wurzel addierten Summanden r dominiert, wird der Wert y bei gleichbleibendem z_0 und x mit zunehmendem r kleiner (3). Das heißt, wie beobachtet, verläuft das Bogenartefakt bei großem Reflektordurchmesser flacher.

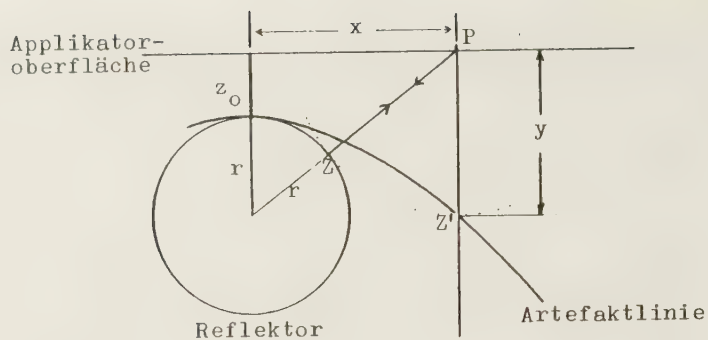


Abb. 32: Zur Berechnung der Hyperbel bei Reflektoren mit nicht vernachlässigbar kleinem Durchmesser

4.3. Entstehung des Fächerartefakts

Größere genau plane Flächen fehlen zwar im menschlichen Körper, sodaß Fächerartefakte im engeren Sinn für die Ultraschalldiagnostik wohl von geringerer Bedeutung sind, doch bietet zumindest die Versuchsanordnung gute Voraussetzungen zur Untersuchung und zum Nachweis der Schallausbreitung außerhalb der Hauptkeule (34).

Die in der Bildebene um einen bestimmten Winkel α geneigte Fläche wird von seitlich ausgesendeten Schallimpulsen (z.B. einer Nebenkeule des Winkels θ) früher getroffen als von den Impulsen der Hauptkeule. Die einfallenden Echos werden vom Gerät wieder auf die Sichtlinie aufgezeichnet. So entsteht eine Artefaktlinie über dem primären Flächenecho, die um den Winkel β geneigt ist (siehe Abbildung 33).

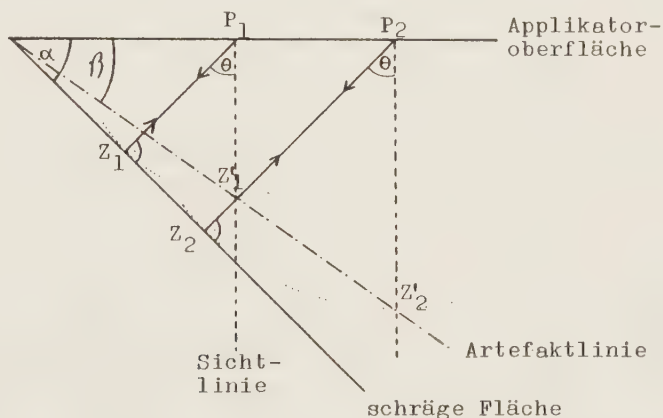


Abb. 33: Entstehung des Fächerartefakts durch senkrechte Reflexion der von P_1 und P_2 ausgehenden Nebenkeulen.

Die Energie des seitlichen Schallfeldes reicht zur Artefaktentstehung allerdings nur aus, wenn die Impulse senkrecht zurückreflektiert werden. Gut zu sehen ist demnach ein Fächerartefakt, wenn gerade eine Nebenkeule mit höherer Schallintensität senkrecht auf die Fläche trifft.

Der dazu nötige Flächenneigungswinkel α ist dann mit dem Nebenkeulenwinkel θ identisch.

Die Beziehung zwischen Flächenwinkel α und Artefaktwinkel β $\sin \alpha = \tan \beta$ ergibt sich aus der senkrechten Reflexion der seitlich ausgesendeten Schallimpulse und wird im Appendix II hergeleitet.

Die Untersuchungen mit Schallabsorber zeigen, daß genau an der Stelle eine Lücke in der Artefaktlinie entsteht, wenn die senkrechte Reflexion der Nebenkeulen an der Fläche durch den Absorber verhindert wird (Abbildung 34).

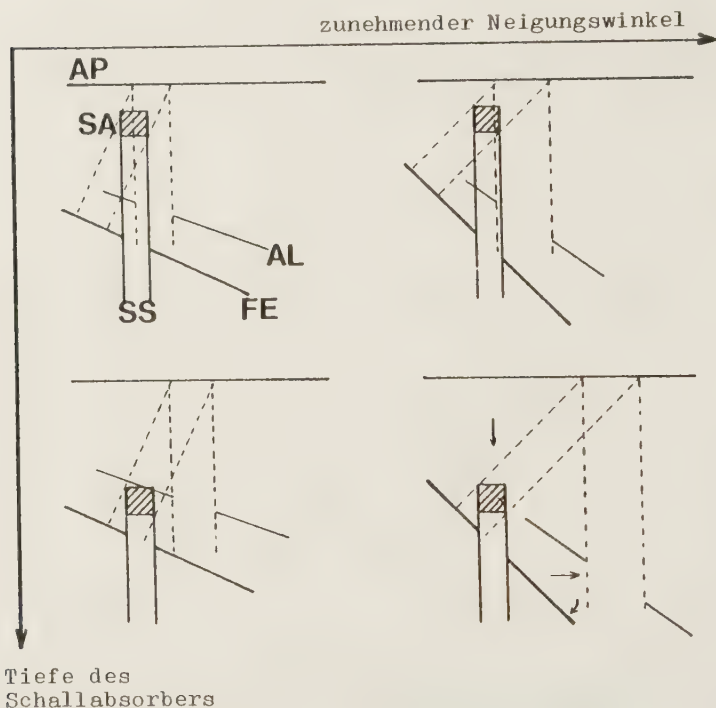


Abb. 34: Zusammenhang zwischen Lage des Schallabsorbers, Neigungswinkel der Fläche und Lage der Artefakt-lücke beim Fächerartefakt.

AP = Applikatoroberfläche

SA = Schallabsorber

SS = Schallschatten

FE = primäres Flächenecho

AL = Artefaktlinie

4.4. Besonderheiten bei verschiedenen Gerätetypen

Nach der allgemeinen Besprechung der Entstehung von Bogen- und Fächerartefakten soll an dieser Stelle wieder auf die Besonderheiten bei einzelnen Geräten eingegangen werden.

4.4.1. Compound Scanner

Aus Abbildung 15, Seite 24, kann das Aussehen des Schallfeldes in etwa entnommen werden. Die Linien, die durch Markieren der bei einer bestimmten Verstärkereinstellung gerade noch sichtbaren Artefaktpunkte entstehen, sollen ungefähr Linien gleicher Schallenergie darstellen. Selbstverständlich erreicht die angewandte Methode nicht annähernd die Genauigkeit von Schalldruckmessungen mit Hydrophonen; sie gibt aber einen deutlichen Hinweis auf die Existenz und die Ausbreitungsrichtung der Nebenkeulen. Der im Bild erscheinende Winkel von 29° muß mit der in 4.2. genannten Beziehung $\sin \theta = \tan \phi$ in den wahren Nebenkeulenwinkel von 34° umgerechnet werden.

Die Messungen bei variabler Führung des Schallkopfes dienen in der Hauptsache dem Nachweis, daß unabhängig von der Geometrie des Bildaufbaus die Artefaktechos auf die Sichtlinie immer, in dem Abstand vom Schallkopf projiziert werden, wie es der Weglänge der Nebenkeule von der Transduceroberfläche zum Reflektor und zurück entspricht.

Für bestimmte Schallkopfbewegungen kann unter den oben genannten Annahmen zur Entstehung des Bogenartefakts der zu erwartende Artefaktverlauf errechnet werden (siehe Appendix III). Werden die Scans in den mathematisch definierten Bewegungsrichtungen nachvollzogen, so ergeben sich jeweils die vorausberechneten Artefaktlinien: eine nach unten geöffnete Hyperbel beim Parallel-Scan, ein nach oben offener Kreisbogen beim Sektor-Scan und eine Mischform bei der Führung des Schallkopfes entlang eines Kreisbogens (Abbildung 16, Seite 25).

Daß beim Compound-Scanner Fächerartefakte auch bei Neigung der reflektierenden Fläche gegen die z-Achse auftreten (siehe Abbildung 19, Seite 28), beweist die Rotationssymmetrie des von einem kreisrunden Transducer ausgehenden Schallfeldes.

Dabei wird die Rotationsachse durch die Sichtlinie, also die Schallkeulenachse, dargestellt. Der in Abbildung 35 gezeichnete Schallweg zur Entstehung des Fächerartefakts gilt für alle durch diese Achse gelegten Ebenen.

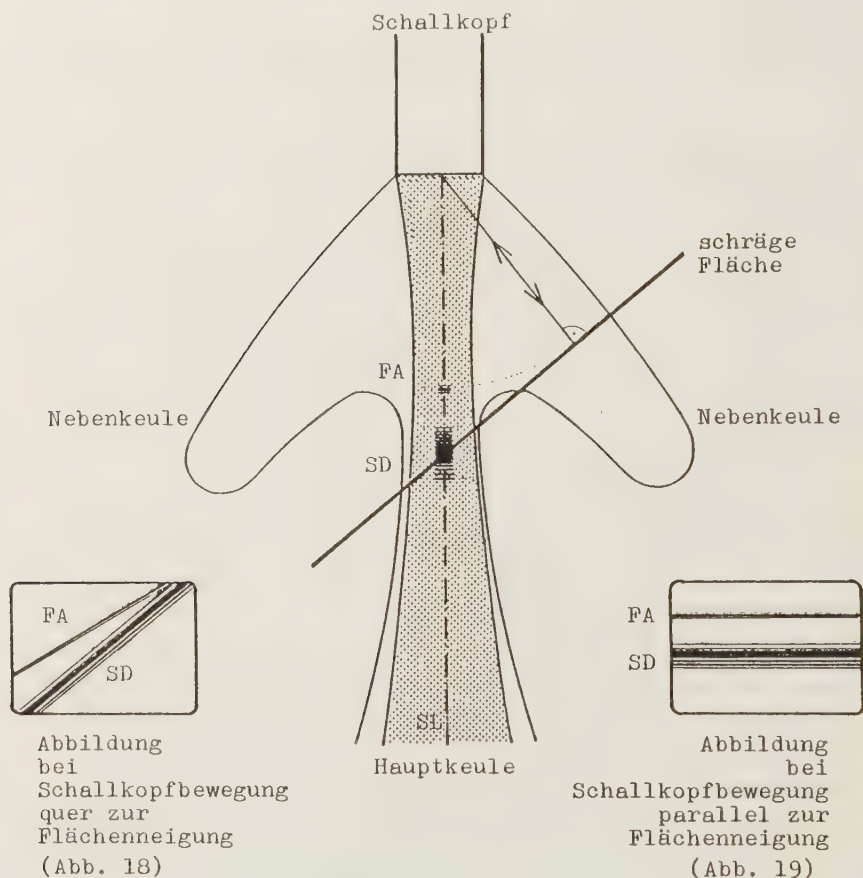


Abb. 35: Entstehung des Fächerartefaktes (FA) durch Reflexion einer Nebenskeule und des Schichtdickenartefaktes (SD) durch die Dicke der Hauptkeule (4, 20) in verschiedenen Ebenen bei rotations-symmetrischem Schallfeld eines runden Transducers.
 Rotationsachse = Sichtlinie (SL)
 (zu Abbildung 18 und 19, Seite 27/28)

4.4.2. Sektor-Scanner

Die gleichmäßige Helligkeitsabnahme im Artefaktverlauf ohne Maxima und Minima läßt auf eine gleichmäßige, zwiebelschalenförmige Intensitätsabnahme im Schallfeld außerhalb der Hauptkeule schließen.

Bei jeder beliebigen Scan-Richtung werden die außerhalb der Hauptkeule in seitlicher Richtung ausgesendeten Impulse vom selben Punkt auf der Oberfläche eines stabförmigen oder eines flachen Reflektors senkrecht reflektiert. Sie werden als artefizielles Echo im Abstand dieses 90° - Punktes vom Schallkopf jeweils auf der Sichtlinie aufgezeichnet. So entstehen bei stabförmigen und bei flachen Reflektoren nach oben offene Kreisbögen, die vom schallkopfnächsten Punkt des Reflektors ausgehen. Dies erklärt auch, warum beim Abdecken dieses einzigen Punktes mit einem Schallabsorber das ganze Artefakt verschwindet. (Abbildungen 20-22, Seite 29).

Erreicht während der Abtastung eines Bildes die Hauptkeule den 90° - Punkt, so führt die starke Reflexion der hohen Intensität in der Hauptkeule zur Übersteuerung des Verstärkers. Abbildung 36 zeigt den Schallweg, der zur Aufzeichnung des Kreisbogens führt, an drei verschiedenen augenblicklichen Scan-Richtungen.

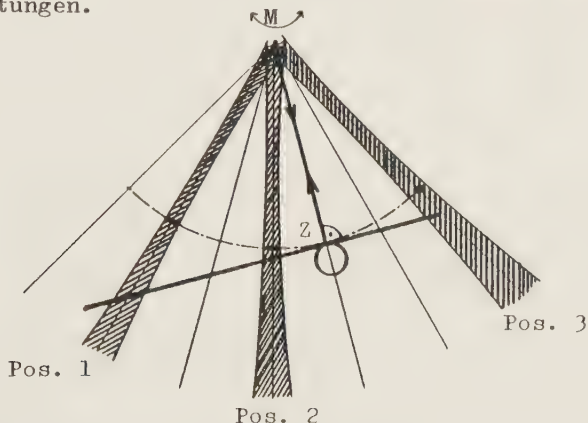


Abb. 36: Entstehung des Kreisbogens als Artefakt bei stabförmigen und bei flachen Reflektoren: Unabhängig von der augenblicklichen Scan-Richtung werden außerhalb der Hauptkeule ausgesendete Impulse immer vom selben Punkt senkrecht reflektiert, sodaß ein Kreisbogen mit Radius = MZ aufgezeichnet wird.

4.4.3. Parallel-Scanner

Die Entstehung des Bogen- und Fächerartefakts wurde in 4.2. und in 4.3. deshalb speziell am Beispiel von Linear-Array Geräten verdeutlicht, weil diese in Richtung der Elementanordnung (y-Richtung) meist eine sehr ausgeprägte Nebenkeulenstruktur aufweisen (13). Hinzukommt, daß die quaderförmigen Einzelelemente nicht nur Dickenschwingungen in Richtung der Hauptkeule ausführen, sondern auch Querschwingungen senkrecht dazu. Durch diese Störschwingungen erfolgt zusätzlich zu den interferenzbedingten Nebenkeulen eine weitere Ausbreitung von Schallwellen außerhalb der Hauptkeule (62). Aus diesem Grunde treten Bogen- und Fächerartefakte bei elektronischen Parallel-Scannern weitaus am deutlichsten in Erscheinung. Je nach Form, Anzahl und Intensität der Nebenkeulen und der Querschwingungen sind die Artefakte in einer für jedes Gerät typischen Ausprägung zu sehen:

Bei Toshiba Sonolayer L reicht die Intensität der 19° -Nebenkeule aus, um beim Fächerartefakt auch bei nicht senkrechter Reflexion eine zusätzliche Artefaktlinie erscheinen zu lassen. An den Schnittbildern der Kupferdrahtleiter (Abbildung 23, Seite 31) erkennt man ein recht stark ausgeprägtes Nebenkeulenmuster mit zum Teil hoher Intensität. Die Schallenergie konzentriert sich bei Siemens Imager so stark auf die Hauptkeule und nur eine dünne Nebenkeule bei 32° , daß kein deutliches Bogenartefakt, sondern oft nur ein einzelnes Artefaktecho lateral vom primären Reflektorecho entsteht (Abbildung 25, Seite 33), und das Fächerartefakt nur bei Flächenneigungswinkeln von 30° - 32° zu sehen ist. ADR Kranzbühler hat eine Nebenkeule bei etwa 35° , die bis zu einer Tiefe von ca. 8 cm reicht. Ansonsten nimmt die Intensität der Hauptkeule langsam und gleichmäßig nach lateral ab (Abbildung 26, Seite 31).

Die 17° - Nebenkeule von Siemens Sonoline reicht mit höherer Schallintensität bis zur Tiefe des jeweils eingestellten Sendefocus (Abbildung 27, Seite 34).

Ganz im Gegensatz zu den elektronischen Parallel-Scannern liefert der mechanische Parallel-Scanner Siemens Vidoson ein in dieser Beziehung beinahe artefaktfreies Bild. Durch die 27 cm lange Wasservorlaufstrecke wird das interferenzreiche Nahfeld überbrückt und durch die Form des Transducers und die Parabolspiegeloptik eine gute Focussierung erreicht (52). So verläßt nur ein kleiner Teil der Schallenergie die Wasservorlaufstrecke außerhalb der Hauptkeule und kann nur bei guten Reflexionsbedingungen zu Artefakten führen. Die Artefaktlinien verlaufen dabei wegen des großen Abstandes zum Transducer sehr flach und kaum gekrümmt.

Einen Überblick über die Ausprägung des Bogen- und Fächerartefaktes und die Schallfeldcharakteristiken bei den verwendeten Geräten gibt Tabelle 8. Die einzelnen Rubriken haben folgende Bedeutung:

- BA φ : Winkel, unter welchem die Verbindungslinie der Helligkeitsmaxima in den Bogenartefakten im Schnittbild der Kupferdrahtleiter erscheint.
- NK θ : Über die Beziehung $\sin \theta = \tan \varphi$ korrigierter, tatsächlicher Nebenkeulenwinkel.
- FA α : Flächenneigungswinkel, bei welchem das Fächerartefakt mit maximaler Helligkeit beobachtet wird, also eine Nebenkeule die Fläche senkrecht trifft. Die Intervallbreite dieses Winkels um den Nebenkeulenwinkel ist ein Maß für die Dicke der Nebenkeule.
- Bild : Schematische Darstellung der mit der Kupferdrahtleiter gewonnenen Informationen über das seitliche Schallfeld, besonders über Anzahl und Lage der Nebenkeulen.
- Bes. : Besondere Bemerkungen zu den einzelnen Geräten.

Tab. 8: Ausprägung des Bogen- und Fächerartefakts und Schallfeldcharakteristiken bei den verwendeten Geräten (Legende siehe Text).

Gerät	BA φ	NK θ	FA α	Bild	Besonderheiten
Typ Compound-Scanner, Artefaktform je nach Schallkopfführung					
Unirad EDP 1000	29°	34°	bis 40°		mehrere "Fransen"
Typ Sektor-Scanner, Artefaktform: nach oben offener Kreisbogen					
Technicare Autosektor	-	-	-		keine Maxima außerhalb der Hauptkeule
Typ Parallel-Scanner, BA: Hyperbel, FA: Gerade					
Toshiba Sonolayer SAL 20 A	18° 33°	19° 40°	bis 60°		ausgeprägtes Nebenkeulenmuster mit z.T. hoher Intensität
Siemens Imager 2380	28°	32°	30°-32°		kaum Bogenartefakt ein deutliches Nebenkeulenecho
ADR Kranzbühler 2131	30°	35°	bis 45°		drei "Fransen"
Siemens Sonoline 8000	17°	17°	(17°)		FA nur schwach NK jeweils so tief wie Sendefocus
Siemens Vidoson 735	-	-	-		wegen Wasservorlaufstrecke und Parabolspiegeloptik BA und FA kaum sichtbar

4.5. Literaturdiskussion

Über Beobachtung und Entstehung der in dieser Arbeit untersuchten Artefakte ist in der Literatur nur sehr wenig zu finden:

Zurinski (62) benutzt eine ähnliche Versuchsanordnung, einen Metallstab im Wasserbad, und führt die dabei in Erscheinung tretenden Bogenartefakte auf zwei Mechanismen zurück:

- a) Die Einzelelemente eines Linear-Array Schallkopfes führen auch Querschwingungen senkrecht zur hauptsächlichen Schallausbreitungsrichtung aus. Die Schallfront dieser Querschwingungen ist in der Schlierenoptik zusätzlich zu den Nebenkeulen seitlich von der Hauptkeule zu sehen (5).
- b) Die Sperrdämpfung zwischen den einzelnen Elementen ist ungenügend, sodaß auch momentan nicht eingeschaltete Elemente senden. So könnte die im Augenblick aktive Gruppe vom Stab reflektierte Schallimpulse, welche von Nachbarelementen ausgehen, empfangen und aufzeichnen (siehe Abbildung 37).

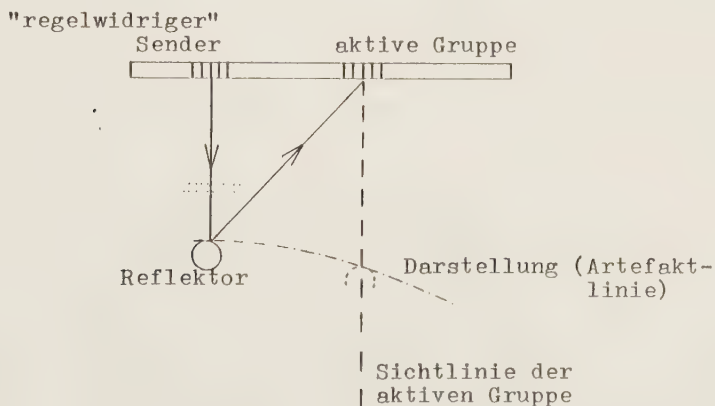


Abb. 37: Artefakt durch ungenügende Sperrdämpfung der Einzelelemente eines Linear-Array Schallkopfes nach Zurinski (62).

Während die Querschwingungen der Elemente durchaus einen Beitrag zur seitlichen Schallausbreitung und somit zusammen mit Nebenkeulen zur Artefaktentstehung liefern, scheidet die ungenügende Sperrdämpfung als Ursache für die in dieser Arbeit

untersuchten Artefakte jedoch praktisch aus. Wird nämlich der angenommene Schallweg, wie in Abbildung 37 durch eine punktierte Doppellinie angedeutet, direkt über dem Reflektor unterbrochen, so kommt das Artefakt dennoch zur Darstellung (siehe Untersuchungen mit Schallabsorber unter 3.1.1. und 4.2.). Außerdem kann die Sperrdämpfung heute auf elektronischem und mechanischem Weg (Feinteilung der Elemente) verbessert werden, sodaß es nur mehr in geringem Maße zu solchen Übersprecheffekten kommen sollte.

Lutz (39) übernimmt im wesentlichen die Vorstellung von Zurinski und betont zusätzlich, daß eine Entstehung des Artefakts nur bei Linear-Array Geräten möglich ist. Dem kann jedoch durch unsere Beobachtungen am Compound- und am Sektor-Scanner widersprochen werden.

Eine Versuchsanordnung zur Darstellung des Fächerartefakts durch Reflexion von Nebenkeulen an einer schrägen Fläche ist in einem der von Kautkramer und Branson herausgegebenen Aero-Tech-Reports (34) beschrieben.

Hefner, Parks und Goldstein (26) machten mit einem leiterähnlichen Testobjekt zwar Nebenkeulen sichtbar, legten in ihren Untersuchungen aber nur Wert auf die Bestimmung des Focus der Hauptkeule.

Obwohl es sich beim Bogenartefakt im Prinzip um einen Fall von extrem schlechter lateraler Auflösung, hervorgerufen durch einen starken seitlichen Reflektor oder zu hohe Verstärkung, handelt, endet auch bei Bäckerlings Arbeit über die laterale Auflösung von Ultraschallgeräten (1) das Gebiet des Interesses an den Grenzen der Hauptkeule.

Mit ähnlichen Untersuchungen, wie in dieser Arbeit beschrieben, untersuchten 1977 Kidokoro e.a. (32) Fächer- und Bogenartefakte und führten sie ebenfalls auf die Reflexion von Nebenkeulen zurück. Der Rückschluß aus der Helligkeitsverteilung im Artefakt auf das Nebenkeulenmuster und ein Bezug auf die Verhältnisse in vivo fehlten dabei noch.

4.6. Klinische Bedeutung

4.6.1. Voraussetzungen

Nicht immer gleicht das Schallfeld im Gewebe genau dem in vitro ermittelten Bild. Durch Beugung, Reflexion und Absorption können Haupt- und Nebenkeulen erheblich verzerrt und abgeschwächt werden (16, 43). Artefakte treten aber umso eher auf, je weniger die Intensität der seitlich ausgestrahlten Schallimpulse gemindert wird. Dies ist zum Beispiel bei einem homogenen, gut schalleitenden Organ wie der Leber, einer oberflächennahen Zyste (Gallenblase, gefüllte Harnblase) oder dem flüssigkeitsgefüllten Magen der Fall (37, 55).

Ferner ist ein starker Reflektor nötig. Hohe Impedanzsprünge finden sich an Luftblasen, Knochen, Verkalkungen und Rückwänden von Zysten.

Schließlich wird die Artefaktlinie nur dann sichtbar, wenn ihr kein Gewebebild überlagert ist, also nur in echoarmen Bereichen, wiederum etwa in der Leber oder einer Zyste.

Bei den in der Literatur beschriebenen (4.6.3.) und unseren eigenen in-vivo Beobachtungen (Tabelle 7, Seite 35) liegt jeweils diese, für die Artefaktentstehung nötige, Konstellation (starker Reflektor in oder neben einem gut schalleitenden und echoarmen Bezirk) vor. Davon gibt Abbildung 38 einige mögliche Entstehungsorte für Fächer- und Bogenartefakte stark schematisiert wieder.

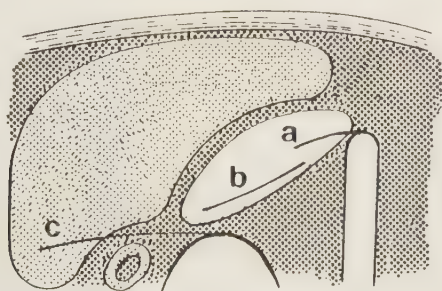


Abb. 38: Schemadarstellung einiger möglicher Entstehungsorte für Bogen- u. Fächerartefakte:
a) Bogenartefakt ausgehend von Darmluft,
b) Fächerartefakt der Gallenblasenrückwand,
c) Bogenartefakt ausgehend von der Wirbelsäule, also immer starker Reflektor neben echoarmen Bereichen!

4.6.2. Eigene in-vivo Beobachtungen

Wegen der oberflächlichen Lage und der anatomischen Nähe zu luftgefüllten Darmschlingen werden Bogenartefakte weitaus am häufigsten in der Gallenblase beobachtet und treten dabei in verschiedenen Formen in Erscheinung:

Abbildung 39 zeigt im Querschnitt durch die Gallenblase einen kurzen, von der Seite in das Lumen hineinreichenden Bogen.



Abb. 39: Querschnitt durch die Gallenblase mit Bogenartefakt.

Bei entsprechender klinischer Symptomatik könnte dieses Artefakt als von Strukturen innerhalb des Gallenblasenlumens ausgehend mißinterpretiert werden. Denkbar wären dabei in der Galle schwebende Cholesterinkristalle, Schleimhautpolypen oder Septen, wie sie am Übergang vom Infundibulum zum Corpus manchmal vorkommen können.

Besteht das Bogenartefakt, wie bei Siemens Imager, hauptsächlich aus einem einzigen stärkeren Nebenkeulenecho, so kann dieses für einen nicht schattengebenden Gallenstein gehalten werden. Abbildung 40 zeigt dieses Artefakt, ein deutliches Echo im Infundibulum, welches das Helligkeitsmaximum eines von benachbarter Darmluft ausgehenden Bogenartefakts darstellt.



Abb. 40: Längsschnitt in der
Medioklavikularlinie durch die
Gallenblase:
Artefaktecho im Infundibulum

Das Artefakt in Abbildung 41 bietet ähnliche Verwechslungsmöglichkeiten wie Schichtdickenartefakte. Während aber das Schichtdickenartefakt daran gut zu erkennen ist, daß dessen Echostärke lumenwärts langsam abnimmt (4), ist diese Mischform aus Bogen- und Fächerartefakt in Abbildung 41 zum Lumen hin gut abgegrenzt. Mögliche Fehlinterpretationen wären: Debris, Sludge, Konkrement, evtl. eine Schleimhautverdickung bei chronischer Cholezystitis.



Abb. 41: Längsschnitt in der
Medioklavikularlinie durch die
Gallenblase:
Bogenförmiges artefizielles
Echoband im Lumen

Um dem Patienten die Strahlenbelastung einer radiographischen Cholezystographie bei unklarem Ultraschallbefund zu ersparen, ist es nötig, Verwechslungen dieser Artefakte mit tatsächlichen organischen Befunden zu vermeiden. Dies gelingt, wenn in mehreren Schnittebenen untersucht wird; bei Änderung der Schnittebene verschwinden die Artefakte in der Regel, da die dazu nötige Organkonstellation nicht mehr vorliegt.

Außerdem ändern Artefakte natürlich nicht (wie z.B. Konkremente) ihre Lage mit Drehung oder Aufrichtung des Patienten.

4.6.3. In der Literatur beschriebene in-vivo Beobachtungen

Wegen der verwandten Technologie sind ähnliche Artefakte nicht nur in der Oberbauchsonographie, sondern auch in anderen Teildisziplinen der Ultraschalldiagnostik zu erwarten.

Echokardiographie:

Roelandt e.a. (49) beschrieben 1976 Artefakte aufgrund der räumlichen Verteilung der Schallausbreitung, welche bei der Interpretation eines Echokardiogramms Probleme bieten können. Bei einem Patienten mit einer künstlichen Mitralklappe ("Starr-Edwards-Prothese") wurden bei der Darstellung der Aortenwurzel im TM-Bild Echos im linken Vorhof aufgezeichnet, sodaß die Klappe in den linken Vorhof verlagert erschien.

Das B-Bild zeigt jedoch, daß es sich hierbei nur um artefizielle Echos eines vom Ball der Klappenprothese ausgehenden Bogenartefakts handelt. Schematisch ist dieser Sachverhalt in Abbildung 42 dargestellt.

Auch Fächerartefakte können an stark reflektierenden Grenzflächen, z.B. dem Endokard der Herzhinterwand, entstehen. Dies führt im TM-Bild zu einer doppelten Aufzeichnung der entsprechenden Grenzfläche.

De Maria (12) berichtet, daß Echos von wandständigen Verkalkungen durch Nebenkeulen auch im eigentlich echofreien linken Ventrikel abgebildet werden können. Es handelt sich dabei um Bogenartefakte, welche ausgehend von diesen Verkalkungen in das Ventrikellumen ziehen.

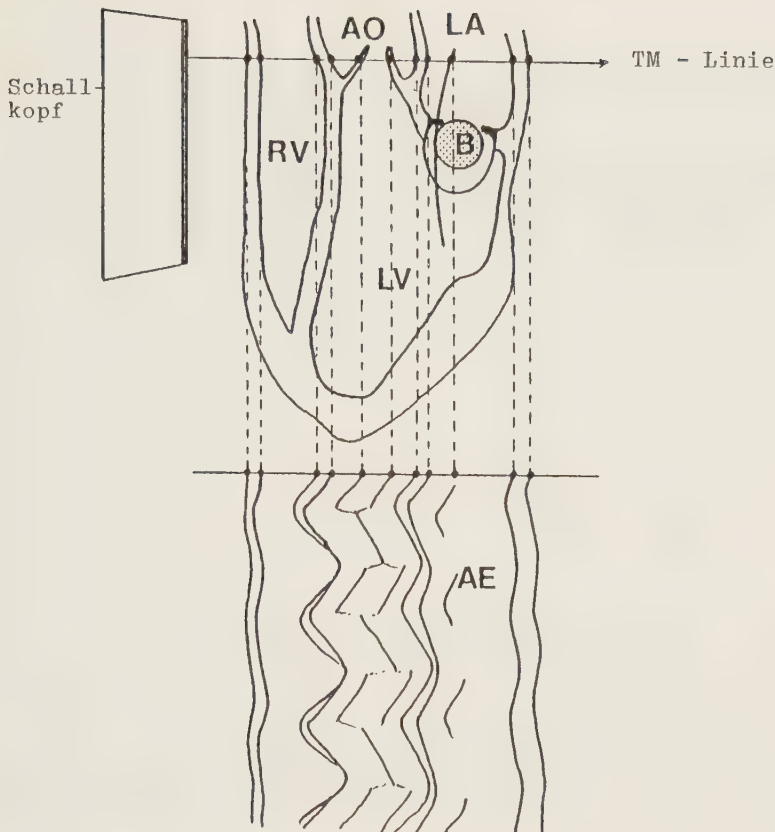


Abb. 42: Bogenartefakt ausgehend von einer künstlichen Mitralklappe:
 Das Artefaktecho erscheint im TM-Bild auch noch bei Darstellung der Aortenwurzel. Die Mitralklappe scheint dabei in den linken Vorhof verlagert.

AO = Aorta
 RV = rechter Ventrikel
 LA = linker Vorhof
 LV = linker Ventrikel

B = Ball der Mitralklappenprothese
 AE = Artefaktecho in der TM-Darstellung

Geburtshilfe:

In der Geburtshilfe wird das Alter des Feten auch durch Messung des Biparietaldurchmessers per Ultraschall bestimmt. Hier können nach Watmough e.a. (56) an der fetalen Schädelskalotte Bogenartefakte an der konvexen Seite und Fächerartefakte an der konkaven Seite auftreten (siehe Abbildung 43).



Abb. 43: Bogen- (BA) und Fächerartefakte (FA)
am fetalen Schädel

Durch die asymmetrische Darstellung scheint die Mittellinie nicht mehr genau zwischen den beiden Schädelechos zu liegen. Schwierigkeiten bei der Bestimmung des Biparietaldurchmessers sind die Folge.

4.6.4. Folgerungen

Wie bei jedem anderen technischen Hilfsmittel schützt auch in der Ultraschalldiagnostik nur das Wissen um die physikalischen und technischen Vorgänge bei der Bildentstehung vor Fehlinterpretationen. Zu oft veranschaulicht man sich jedoch die Schallausbreitung in einer eindimensionalen, geometrisch-optischen Betrachtungsweise. Man spricht von einem "Schallstrahl", als sei der Schall einem Laserstrahl ähnlich stark gebündelt. Die Wellenlängen bei der Ultraschalldiagnostik sind jedoch gut 1000 mal größer als beim sichtbaren Licht; die Bündelung ist daher um diesen Faktor schlechter (35). Umso mehr muß die Wellennatur des Schallfeldes mit seinen Interferenzen und seiner räumlichen Ausdehnung beachtet werden.

Zur einfachen Darstellung des Schallfeldes eignet sich das von Hefner e.a. (26) vorgeschlagene und in dieser Arbeit verwendete leiterähnliche Testobjekt. Wer sich auf diese Weise mit den Schallfeldcharakteristiken seines Ultraschallgerätes vertraut macht, wird die durch Nebenkeulen und seitliche Schallausbreitung entstehenden Artefakte eher als solche erkennen und vor Fehlinterpretationen bewahrt bleiben.

5. ZUSAMMENFASSUNG

1. Problemstellung: Bei der Ultraschalldiagnostik können des öfteren Echos sichtbar werden, die keiner wirklichen anatomischen Struktur entsprechen. Diese Artefakte beruhen darauf, daß verschiedene Annahmen über die Schallausbreitung nicht erfüllt sind. Über die Entstehung einer in der Poliklinik der Universität München als "Bogenartefakt" bezeichneten, von starken Reflektoren ausgehenden, gebogenen Linie sind in der Literatur nur wenige, zum Teil unterschiedliche Vorstellungen zu finden. Die vorliegende Arbeit soll die Ursache des Artefakts klären und auf die klinische Bedeutung hinweisen.
2. Material und Methoden: Die Echos von Reflektoren unterschiedlicher Form und Oberfläche wurden im Wasserbad hauptsächlich qualitativ untersucht. Unter den verwendeten Ultraschalgeräten befanden sich Compound-, Sektor- und mehrere Parallel-Scanner.
3. Ergebnisse: Abhängigkeiten der Form, Krümmung, Steilheit, Breite und der Helligkeit der Artefaktlinien von der Form, der Tiefe und der Oberfläche des Reflektors sowie vom Reflexionswinkel wurden festgestellt. Ferner erschien die Artefaktlinie bei jedem Gerät unterschiedlich ausgeprägt.
4. Diskussion: Die Entstehung des Artefakts wird darauf zurückgeführt, daß außerhalb der beabsichtigten Richtung auch eine Ausbreitung von Schallenergie nach der Seite erfolgt. Diese kann neben der Hauptkeule gleichmäßig verteilt oder in sog. Nebenkeulen konzentriert sein. Die unterschiedliche Ausprägung des Artefakts bei den einzelnen Geräten gibt dabei die jeweilige Schallfeldcharakteristik wieder.

In vivo gehen die Artefakte von Stellen starken Schallimpedanzsprunges aus und sind besonders gut in zystischen oder anderen echoarmen Regionen zu sehen. Sie können zu Verwechslungen mit tatsächlich vorhandenen, echogebenden Strukturen (Konkremente, Debris etc.) führen.

SUMMARY

In diagnostic ultrasound sometimes echos are visible, which do not correlate with true anatomic structures.

One of these artifacts is called "bow-artifact" in the policlinic of the University of Munich and looks like an arc taking rise in strong reflectors.

For explaining its origin the echos of different reflectors were examined in a water-bath. Compound-, Sector- and Parallel-Scanners were used.

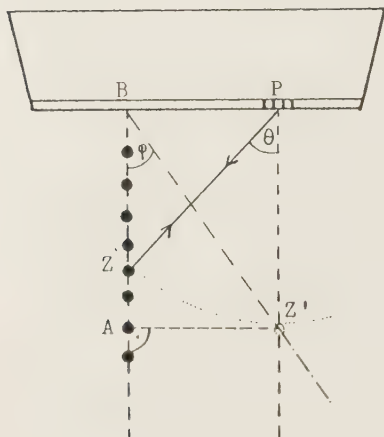
Form, curvature, steepness, breath and brightness of the artifacts were dependent as well from the form, deepness and surface of the reflectors as from the ultrasonic equipment used.

The origin of these artifacts is due to spreading of sound waves outside the main beam either symmetrically or in the form of side-lobes.

These observations were completed by some in-vivo observations.

6. MATHEMATISCHER APPENDIX

Appendix I : Beziehung zwischen dem Winkel der Verbindungslinie der Helligkeitsmaxima φ und dem wirklichen Nebenkeulenwinkel θ beim Bogenartefakt:



$$\sin \theta = \frac{PB}{PZ}$$

wegen $PB = AZ'$

und $PZ = PZ' = BA$

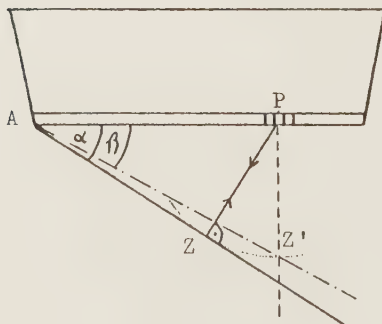
folgt: $\sin \theta = \frac{AZ'}{BA}$

$\frac{AZ'}{BA}$ ist jedoch gleich $\tan \varphi$

daraus folgt:

$$\sin \theta = \tan \varphi$$

Appendix II : Beziehung zwischen dem Flächenneigungswinkel α und dem Artefaktwinkel β beim Fächerartefakt:



$$\sin \alpha = \frac{PZ}{PA}$$

wegen $PZ = PZ'$

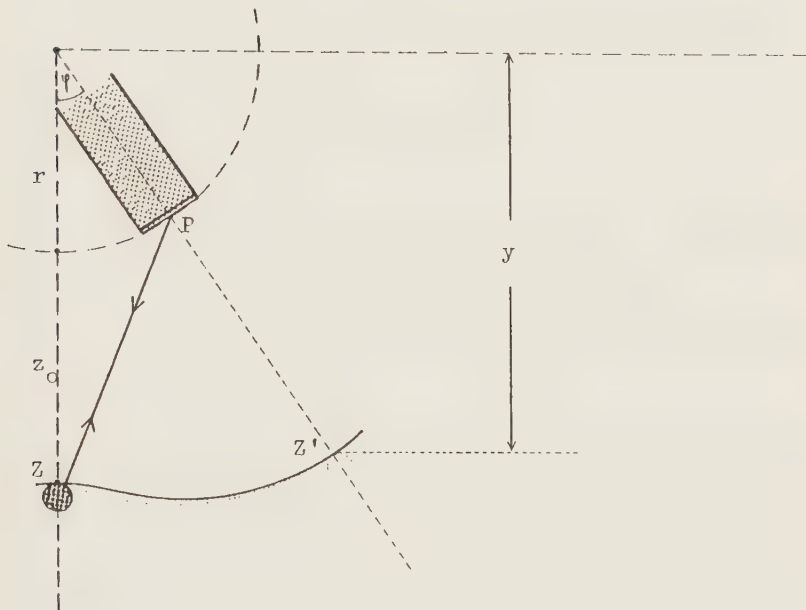
folgt: $\sin \alpha = \frac{PZ'}{PA}$

$\frac{PZ'}{PA}$ ist jedoch gleich $\tan \beta$

daraus folgt:

$$\sin \alpha = \tan \beta$$

Appendix III : Berechnung des Bogenartefaktverlaufes bei
Führung des Compound-Schallkopfes entlang
eines Kreisbogens mit Radius r :



$$y = \cos \varphi (r + PZ')$$

nach dem Kosinussatz (3) ergibt sich

$$y = \cos \varphi (r + \sqrt{2 r^2 + 2 r z_0 + z_0^2 - (2 r^2 + 2 r z) \cos \varphi})$$

7. LITERATURVERZEICHNIS

1. Bücklerling, W.:
Querauflösung im Ultraschall B-Bild. Quantitative
Bestimmung von Geräteparametern des Kretz-Gerätes
MG 4100 / MGS 4100.
Dissertation, Med. Hochschule Hannover, 1978
2. Banjavic, R.A., J.A. Zagzebski, E.L. Madsen,
M.M. Goodsitt:
Distortion of ultrasound beams in tissue and tissue-
equivalent media.
Acoustical Imaging and Holography 1 (1979): 165-77
3. Barth, P., P. Mühlbauer, F. Nikol, K. Wörle:
Mathematische Formeln und Definitionen.
Bayerischer Schulbuch-Verlag, München, 1976
4. Bönhof, J.A., H. Kremer, B. Bönhof, M. Stapff,
N. Zöllner:
Bedeutung der Schallkeulendicke in der Real-time
Sonographie. In vitro- und in vivo Beobachtungen.
(in Vorbereitung)
5. Bönhof, J.A.:
persönliche Mitteilung
6. Braun, B., W. Schwerek:
Ultraschalldiagnostik der Cholelithiasis.
Deutsche medizinische Wochenschrift 103 (1978): 1101-7
7. Brendel, K., L.S. Filipcynski, R. Gerstner, C.R. Hill,
G. Kossoff, G. Quentin, J.M. Reid, J. Saneyoshi, J.C.
Somer, A.A. Techvnenko, P.N.T. Wells:
Methods of measuring the performance of ultrasonic
pulse-echo equipment.
Ultrasound in Med. & Biol. 2 (1976): 343-50
8. Burckhardt, C.B.:
Technische Grundlagen der Grauwertdarstellung.
Ultraschall 1 (1980): 242-6

9. Chivers, R.C., R.A. Bacon, T.J. Bloomberg:
The accuracy of dimensional measurement in ultrasonic real-time scanning.
British Journal of Radiology 54 (1981): 978-81
10. Conrad, M.R., J.O. Janes, J. Dietchy:
Significance of low level echoes within the gallbladder.
American Journal of Roentgenology 132 (1977): 967-72
11. Cosgrove, D.O., P. Garbutt, C.R. Hill:
Echos across the diaphragm.
Ultrasound in Med. & Biol. 3 (1978): 385
12. DeMaria, A.N., W. Bommer, J.A. Joye, D.T. Mason:
Cross-sectional echocardiography: Physical principles, anatomic planes, limitations and pitfalls.
American Journal of Cardiology 46 (1980): 1097-1108
13. Eggleton, R.C.:
State-of-the-art of single-transducer ultrasonic imaging technology.
Medical Physics 3 (1976): 303-11
14. Faran, J.J.:
Sound scattering by solid cylinders and spheres.
Journal of the Acoustical Society of America 23 (1951): 405
15. Feigenbaum, H.:
Echokardiographie
Straube-Verlag, Erlangen, 1979
16. Foster, F.S., J.W. Hunt:
Transmission of ultrasound beams through human tissue-focussing and attenuation studies.
Ultrasound in Med. & Biol. 5 (1979): 257-68
17. Frey, F.J. (Hrsg.):
Ultrasound: Its applikation in medicine and biology.
In: Wolsky, S.P., A.W. Czanderna: Methods and Phenomena.
Amsterdam, 1978

18. Goldstein, A.:
Registration errors in compound B-Scan.
Journal of clinical Ultrasound 9 (1981): 25-27
19. Goldstein, A.:
Range ambiguities in real-time ultrasound.
Journal of clinical Ultrasound 9 (1981): 83-90
20. Goldstein, A., B.L. Madrazo:
Slice-thickness artifacts in gray-scale ultrasound.
Journal of clinical Ultrasound 9 (1981): 365-75
21. Haerten, R.:
Scan-Verfahren und Bildqualität
in: Krestel, E.: Bildgebende Systeme für die medi-
zinische Diagnostik.
Siemens AG, Berlin, München, 1980
22. Hall, A.J., J.E.E. Fleming:
Technical pitfalls in ultrasonic B-scan examination.
Med. & Biol. Engineering 10 (1972): 631-42
23. Hall, A.J., J.E.E. Fleming:
A method for checking the registration error of
contact B-scanners.
Journal of clinical Ultrasound 3 (1975): 51-54
24. Hanafy, A.:
Visualization of multimode radiation patterns of
acoustic transducers by acousto-optic diffraction.
Ultrasonic Imaging 1 (1979): 295-302
25. Hanafy, A.:
Characterization of multielement acoustic arrays
by acousto-optic diffraction methods.
Ultrasonic Imaging 2 (1980): 122-34
26. Hefner, L.V., J.A. Parks, A. Goldstein:
Transducer beam pattern test object.
Journal of clinical Ultrasound 8 (1980): 5-10

27. Hefner, L.V., A. Goldstein:
Resonance by rod-shaped reflectors in ultrasound
test objects.
Radiology 139 (1981): 189-93
28. Hessler, P.C., D.S. Hill, F.M. Detorie, A.F. Rocco:
High accuracy sonographic recognition of gallstones.
American Journal of Roentgenology 136 (1981): 517-20
29. Holm, H.H., S.N. Rasmussen, J.K. Kristensen:
Errors and pitfalls in ultrasonic scanning of the
abdomen.
British Journal of Radiology 45 (1972): 835-40
30. Holmer, N.G., K. Lindström:
New methods in medical ultrasound.
Lund, Malmö, 1978
31. Jaffe, C.C., K.J.W. Taylor:
The clinical impact of ultrasonic beam focussing
patterns.
Radiology 131 (1979): 469-72
32. Kidokoro, T., K. Iinuma, Y. Takehara, K. Morita,
A. Matsuda:
Some factors disturbing echographic diagnosis.
日経利工 52 年 5 月 1977 (aus einer Mitteilung der
Fa. Toshiba)
33. Krasil'nikov, V.A.:
Sound and ultrasound waves in air, water and solid
bodies.
Jerusalem, 1963
34. Krautkramer, Branson (Hrsg.):
Linear arrays: Theory of operation and performance.
KB-Aerotech-Reports 2 (1981): No. 1, Lewistown,
Pennsylvania
35. Krautkrämer, J.:
Das Ultraschallfeld, seine Eigenschaften für das nicht
zerstörende Prüfen von Werkstoffen und Werkstücken.
Technica 8 (1970): 657-60

36. Kremer, H., W. Schierl, H. Ingrisich, K.W. Frey,
N. Zöllner:
Sonographische oder radiographische Cholezystographie?
Münchener medizinische Wochenschrift 120 (1978): 1453-6
37. Kremer, H., K. Stocker, B. Walther:
Der flüssigkeitsgefüllte Magen - ein akustisches
Fenster zur sonographischen Pankreasdiagnostik.
Deutsche medizinische Wochenschrift 104 (1979): 1090
38. Kremer, H., W. Dobrinski:
Artefakte, Fehlinterpretationen und Einschränkungen
der Aussagekraft bei der Ultraschalluntersuchung des
Bauchraums.
in: H. Kremer (Hrsg.): Sonographische Diagnostik
innerer Erkrankungen.
Urban & Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore, 1982
39. Lutz, H., R.Meudt:
Ultraschallfibel
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1981
40. Madsen, E.L., J.A. Zagzebski, T. Ghilardi-Netto:
An anthropomorphic torso section phantom for ultra-
sonic imaging.
Medical Physics 7 (1980): 43-50
41. Maginness, M.G., J.D. Plummer, W.L. Beaver, J.D. Meindl:
State-of-the-art in two-dimensional ultrasonic trans-
ducer array technology.
Medical Physics 3 (1976): 312-18
42. Mitchell, M.:
An automated ultrasound transducer beam profiling
system.
Radiology 132 (1979): 220-22
43. Mountford, R.A., M. Halliwell:
Physical sources of registration errors in pulse-
echo ultrasonic systems.
Medical and Biological Engineering 1973 : 33-38

44. Neubauer, W.G.:
Experimental observation of three types of pulsed circumferential waves on solid aluminium cylinders.
Journal of the Acoustical Society of America 44 (1968): 1150-52
45. Neubauer, W.G.:
Pulsed circumferential waves on aluminium cylinders in water.
Journal of the Acoustical Society of America 45 (1969): 1134-44
46. Robinson, D.E., G. Kossoff, W.J. Garrett:
Artefacts in ultrasonic echoscopic visualization.
Ultrasonics 4 (1966): 186-94
47. Robinson, D.E., S. Lees, L. Bess:
Near field transient radiation patterns for circular pistons.
IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing 22 (1974): 395-403
48. Robinson, D.E., L.S. Wilson, G. Kossoff:
Shadowing and enhancement in ultrasonic echograms by reflection and refraction.
Journal of Clinical Ultrasound 9 (1981): 181-88
49. Roelandt, J., W.G. van Dorp, N. Bom, J.D. Laird, P.G. Hugenholtz:
Resolution problems in echocardiology: a source of interpretation errors.
American Journal of Cardiology 37 (1976): 256-62
50. Rose, J.L., B.B. Goldberg:
Basic physics in diagnostic ultrasound.
New York, Chichester, Brisbane, Toronto, 1979
51. Skolnik, L., H.B. Meire, J.W. Lecky:
Common artifacts in ultrasound scanning.
Journal of Clinical Ultrasound 3 (1975): 273-80

52. Soldner, R., R. Haerten:
Vidoson 735 - ein neues Real-Time-Schnittbildgerät
für die Sonographie.
Electromedica 3 (1977): 107-12
53. Sommer, F.G., R.A. Filly, M.J. Minton:
Acoustic shadowing due to refractive and reflective
effects.
American Journal of Roentgenology 132 (1977): 973-77
54. Taylor, K., P. Jacobson, C. Talmont, R. Winters:
Artifacts and pitfalls.
in: Manual of Ultrasonography
New York, 1980
55. Warren, P.S., W.J. Garrett, G. Kossoff:
The liquid filled stomach - an ultrasonic window to
the upper abdomen.
Journal of Clinical Ultrasound 6 (1978): 315-20
56. Watmough, D., D. Crippin, J.R. Mallard:
A critical assessment of ultrasonic fetal cephalometry.
British Journal of Radiology 47 (1974): 24-33
57. Wells, P.N.T.:
Biomedical ultrasonics.
Academic Press, London, New York, San Francisco, 1977
58. Wells P.N.T. (Hrsg.):
Ultraschall in der medizinischen Diagnostik.
De Gruyter, Berlin New York, 1980
59. Wendell, B.A., P.A. Athey:
Ultrasonic appearance of metallic foreign bodies in
parenchymal organs.
Journal of Clinical Ultrasound 9 (1981): 133-35
60. Wilkinson, R.W.:
Principles of real-time two-dimensional B-scan
ultrasonic imaging.
Journal of Medical Engineering & Technology 5 (1981):
21-29

61. Ziskin, M.C., D.J. Thickman, N.J. Goldenberg,
M.S. Lapayowker, J.M. Becker:
The comet tail artifact.
Journal of Ultrasound in Medicine 1 (1982): 1-7
62. Zurinski, V.:
Elektronisches Parallelscan-Verfahren.
in: E. Krestel (Hrsg.): Bildgebende Systeme für die
medizinische Diagnostik.
Siemens AG, Berlin, München, 1980

An dieser Stelle möchte ich mich bedanken bei Herrn Prof. Dr. Nepomuk Zöllner, Vorstand der Poliklinik der Universität München, an dessen Klinik ich diese Doktorarbeit durchführen durfte, ferner bei Herrn Dr. Heinrich Kremer für die Stellung des Themas und die Möglichkeit, dabei einen Einblick in die Grundlagen der Ultraschalldiagnostik zu gewinnen. Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. Jörg A. Bönhof für die hilfsbereite Betreuung und die gute Zusammenarbeit.

